Ⅴ-3-10-2-1　タンクローリの強度評価書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（タンクローリ）

Ⅰ．　重大事故等クラス３機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力（kPa）	最高使用温度（℃）
だ円形横置	重大事故等が発生した場合において，可搬型設備用軽油タンクから可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンク，可搬型代替低圧電源車燃料タンク等へ燃料を補給するためのタンクローリとして使用することを目的とする。使用環境として，屋外で燃料を貯蔵，運搬する。	（胴板，鏡板） SAPH400，SS400 （マンホールふた） SAPH400	24＊	40＊

注記　＊：重大事故等時における使用時の値を示す。

Ⅱ．　法令又は公的な規格に規定されている事項

規格及び基準	「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」				
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力（kPa）	最高使用温度（℃）	規格及び基準に基づく試験
移動タンク貯蔵所	車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し，又は取り扱う貯蔵所として使用することを目的とする。使用環境として，屋外で重油等の危険物を貯蔵，運搬することを想定している。	厚さ3.2 ㎜以上の鋼板又はこれと同等以上の機械的性質を有する材料	－	－	圧力タンクを除くタンクにあっては，水圧試験（試験圧力：70 kPa，試験保持時間：10 分）に合格したものに，タンク検査済証の交付がなされる。

Ⅲ．　メーカ仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力（kPa）	最高使用温度（℃）	規格及び基準に基づく試験
4000 L タンクローリ	車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し，又は取り扱う貯蔵所として使用することを目的としている。使用環境として，屋外で軽油等の危険物を貯蔵，運搬することを想定している。	（胴板，鏡板） SAPH400，SS400 （マンホールふた） SAPH400	24＊	40	市町村長等又は行政機関による水圧試験（試験圧力：70 kPa，試験保持時間：10 分間）に合格している。

注記　＊：安全装置の作動圧の最高値を示す。

Ⅳ．　確認項目

(a)　：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

当該タンクは，重大事故等時に燃料補給用のタンクローリとして屋外で使用される。一方，「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」は，危険物の貯蔵又は取り扱いに関する技術上の規格を定めた一般産業品に対する規格であり，移動タンク貯蔵所は屋外で危険物を貯蔵，運搬することを想定している。重大事故等時における当該タンクの使用目的及び使用環境は，本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-1)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（ⅡとⅢの材料及び試験条件の比較，ⅠとⅢの使用条件の比較）

当該タンクには「消防法」に基づく「危険物の規則に関する政令」に従った適切な材料である鋼板が使用されていることを行政機関によるタンク検査済証により確認できる。

当該タンクの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカ仕様の範囲内であり，「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」に従った試験に合格していることを行政機関によるタンク検査済証により確認できることから，当該タンクは要求される強度を有している。

Ⅴ．　評価結果

上記の重大事故等クラス３機器は，一般産業品として「消防法」（「危険物の規制に関する政令」含む。）に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

NT2 補Ⓓ V-3-10-2-1 R2E

Ⅴ-3-10-2-2　可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンクの強度評価書

メーカ規格及び基準への適合性確認結果

（可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンク）

可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンクは，可搬型代替注水大型ポンプの付属機器であり，一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。添付書類「Ⅴ-3-5-4-5-2　可搬型代替注水大型ポンプの強度評価書」に示すとおり，可搬型代替注水大型ポンプ車載燃料タンクは，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

Ⅴ-3-10-2-3　可搬型代替注水中型ポンプ車載燃料タンクの強度評価書

メーカ規格及び基準への適合性確認結果

（可搬型代替注水中型ポンプ車載燃料タンク）

可搬型代替注水中型ポンプ車載燃料タンクは，可搬型代替注水中型ポンプの附属機器であり，一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。添付書類「Ⅴ-3-5-4-5-3　可搬型代替注水中型ポンプの強度計算書」に示すとおり，可搬型代替注水中型ポンプ車載燃料タンクは，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

Ⅴ-3-10-2-4　管（可搬型）の強度評価書

メーカ規格及び基準への適合性確認結果（タンクローリ給油用 10m ホース）

Ⅰ．　重大事故等クラス３機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）
ホース	タンクローリから低圧代替注水大型ポンプ燃料タンク等へ燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋外で燃料を移送する。	補強層入り多層ゴム	1.0＊	80＊

注記　＊：重大事故等時における使用時の値を示す。

Ⅱ．　メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	規格及び基準に基づく試験
エースローリホース（1・1/2B）	一般給油用又は油圧配管用等のホースであり，灯油，軽油，重油を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で燃料を移送することを想定している。	補強層入り多層ゴム	1.0	80	耐圧試験（試験圧力：2.0　MPa，試験保持時間：30～60 秒間）を実施

Ⅲ．　確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは，重大事故等時に屋外で燃料を移送するためのホースである。一方，本メーカ規格及び基準は，一般給油用のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外で燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（Ⅱと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，ⅠとⅡの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は，作動油を流すことに使用するゴムホースについて規定しているＪＩＳ　Ｋ　６３４９「液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカ仕様の範囲内であり，鉱物性油類の輸送に使用するゴムホースについて規定しているＪＩＳ　Ｋ　６３４３「送油用ゴムホース」に規定されている耐圧試験（試験圧力；2 種（最高使用圧力 1.0 MPa 以下）2.0 MPa）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は，耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（ＪＩＳ　Ｋ　６３３０「ゴム及びプラスチックホース試験方法」で規定される耐圧保持時間）により確認している。一方，設計・建設規格のクラス３機器の設計許容応力は降伏点に対して 5/8 を基準にしており，この設計許容応力以下となる必要板厚は最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって，設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで，メーカ規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を有しているとみなせるため，当該ホースは要求される強度を有している。

Ⅳ．　評価結果

上記の重大事故等クラス３機器は，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

メーカ規格及び基準への適合性確認結果（タンクローリ送油用 19.5m ホース）

Ⅰ． 重大事故等クラス３機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）
ホース	タンクローリから低圧代替注水大型ポンプ燃料タンク等へ燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋外で燃料を移送する。	補強層入り多層ゴム	1.0＊	80＊

注記 ＊：重大事故等時における使用時の値を示す。

Ⅱ． メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	規格及び基準に基づく試験
エースローリホース（1B）	一般給油用又は油圧配管用等のホースであり，灯油，軽油，重油を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で燃料を移送することを想定している。	補強層入り多層ゴム	1.0	80	耐圧試験（試験圧力：2.0 MPa，試験保持時間：30～60 秒間）を実施

Ⅲ． 確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは，重大事故等時に屋外で燃料を移送するためのホースである。一方，本メーカ規格及び基準は，一般給油用のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外で燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（Ⅱと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，ⅠとⅡの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は，作動油を流すことに使用するゴムホースについて規定しているＪＩＳ　Ｋ　６３４９「液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカ仕様の範囲内であり，鉱物性油類の輸送に使用するゴムホースについて規定しているＪＩＳ　Ｋ　６３４３「送油用ゴムホース」に規定されている耐圧試験（試験圧力；2 種（最高使用圧力 1.0 MPa 以下）2.0 MPa）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は，耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（ＪＩＳ　Ｋ　６３３０「ゴム及びプラスチックホース試験方法」で規定される耐圧保持時間）により確認している。一方，設計・建設規格のクラス３機器の設計許容応力は降伏点に対して 5/8 を基準にしており，この設計許容応力以下となる必要板厚は最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって，設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで，メーカ規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を有しているとみなせるため，当該ホースは要求される強度を有している。

Ⅳ． 評価結果

上記の重大事故等クラス３機器は，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目次

1. 概要 1
2. 強度評価の基本方針 1
2.1 評価対象施設 1
2.2 評価方針 2
2.2.1 評価の分類 2
3. 構造強度設計 5
3.1 構造強度の設計方針 6
3.2 機能維持の方針 11
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界 61
4.1 荷重及び荷重の組合せ 61
4.2 許容限界 72
4.2.1 建屋・構造物 72
4.2.2 機器・配管系 74
5. 強度評価方法 90
5.1 建屋・構造物に関する評価式 91
5.1.1 鉄筋コンクリート造構造物 91
5.1.2 鋼製構造物 93
5.2 機器・配管系に関する評価式 99
5.2.1 衝突評価が必要な機器 99
5.2.2 ポンプ 100
5.2.3 容器 109
5.2.4 主排気筒 133
5.2.5 配管及び弁 135
5.2.6 換気空調設備 138
6. 適用規格 151

1. 概要

本資料は,「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。）第 7 条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し，技術基準規則第 54 条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷防止に関する説明書」のうち「Ⅴ-1-1-2-3　竜巻への配慮に関する説明書」の「Ⅴ-1-1-2-3-3　竜巻防護に関する施設の設計方針」(以下「Ⅴ-1-1-2-3-3」という。）に基づき，竜巻の影響を考慮する施設が，設計竜巻に対して要求される強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷防止に関する説明書」のうち「Ⅴ-1-1-2-3　竜巻への配慮に関する説明書」の「Ⅴ-1-1-2-3-1　竜巻への配慮に関する基本方針」（以下「Ⅴ-1-1-2-3-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

なお，防護ネットや防護鋼板等の防護対策施設の設計方針については，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」に示し，屋外重大事故等対処設備に設置する固縛装置の設計方針については，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」に示す。具体的な計算の方法及び結果は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2-1　防護対策施設の強度計算書」及び添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3-1　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」に示す。その他の竜巻の影響を考慮する施設の具体的な計算の方法及び結果は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1-1　竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」から添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1-10　波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は,「2.1　評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として,「4.1　荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重及び組み合わすべきその他の荷重による組合せ荷重により生じる応力等が「4.2　許容限界」で示す許容限界内にあることを「5.　強度評価方法」に示す計算方法を使用し,「6.　適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

2.1　評価対象施設

Ⅴ-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」にて構造強度上の性能目標を設定している竜巻の影響を考慮する施設を強度評価の対象とする。強度評価を行うにあたり，評価対象施設を以下のとおり分類することとし，表 2-1 に示す。

(1)　竜巻より防護すべき施設を内包する施設

屋内の竜巻より防護すべき施設を防護する外殻となる，竜巻より防護すべき施設を内包する施設とする。

(2)　屋外の外部事象防護対象施設

設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある屋外の外部事象防護対象施設とする。

(3)　外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設とする。

(4)　建屋等による飛来物の防護が期待できない屋内の外部事象防護対象施設

設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，建屋等による飛来物の防護が期待できない屋内の外部事象防護対象施設とする。

(5)　外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設とする。

2.2　評価方針

竜巻の影響を考慮する施設は，Ⅴ-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」にて設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため，「2.1　評価対象施設」で分類した施設ごとに，竜巻に対する強度評価を実施する。

強度評価の評価方針は，それぞれ「2.2.1(1)　衝突評価」の方針，「2.2.1(2)　構造強度評価」の方針及び「2.2.1(3)　動的機能維持評価」の方針に分類でき，評価対象施設はこれらの評価を実施する。

外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度評価は，防護措置として設置する防護対策施設，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度評価を踏まえたものであるため，防護対策施設，竜巻より防護すべき施設を内包する施設について示したうえで，外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設について示す。

2.2.1　評価の分類

(1)　衝突評価

衝突評価は，竜巻による設計飛来物による衝撃荷重に対する直接的な影響の評価として，評価対象施設が，貫通，貫入，ひずみ等の変形が生じた場合においても，当該施設の機能を維持可能な状態に留めることを確認する評価とする。

評価対象施設の構造及び当該施設の機能を考慮し，飛来物の衝突により想定される損傷モードを以下のとおり分類し，それぞれの評価方針を設定する。

a.　建屋・構造物

(a)　貫通

(b)　ひずみ

b.　機器・配管系

(a)　貫入

(2)　構造強度評価

構造強度評価は，竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重により生じる応力等に対し，評価対象施設及びその支持構造物が，当該施設の機能を維持可能な構造強度を有することを確認する評価とする。構造強度評価は，構造強度により閉止性及び開閉機能を確保することの評価を含む。

構造強度評価は，評価対象施設の構造を考慮し，以下の分類ごとに評価方針を設定する。

a. 建屋・構造物

建屋・構造物の構造強度評価は，鉄筋コンクリート造構造物と鋼製構造物に分類し，その構造を踏まえた評価項目を抽出する。

(a) 鉄筋コンクリート造構造物

イ. 裏面剥離

ロ. 転倒及び脱落

ハ. 変形

(b) 鋼製構造物

イ. 転倒及び脱落

ロ. 変形

b. 機器・配管系

(a) 残留熱除去系海水系ポンプ

(b) 残留熱除去系海水系ストレーナ

(c) 主排気筒

(d) 中央制御室換気系冷凍機

(e) 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン」という。）

(f) 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ」という。）

(g) 非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ」という。）

(h) 非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口」という。）

(i) 配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系フィルタ系ファン及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）

(j) 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））

(k) 隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））

(l) ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）

(m) 非常用ディーゼル発電機排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器」という。）

(n) 非常用ディーゼル発電機排気配管，非常用ディーゼル発電機燃料デイタンクベント管，非常用ディーゼル発電機機関ベント管及び非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイタンクベント管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管」という。）

(o) 残留熱除去系海水系配管（放出側）

(p) 非常用ディーゼル発電機用海水配管（放出側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管（放出側）（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）」という。）

(3) 動的機能維持評価

動的機能維持評価は，設計竜巻による荷重及びその他の荷重に対し，竜巻時及び竜巻通過後において，評価対象施設のうちポンプ等の動的機器が，当該施設の動的機能を維持可能なことを確認する評価とする。

a. 機器・配管系

(a) 残留熱除去系海水系ポンプ

(b) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

表 2-1　強度評価における施設分類

強度評価における分類	施設名称
(1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設	・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・軽油貯蔵タンクタンク室
(2) 屋外の外部事象防護対象施設	・残留熱除去系海水系ポンプ ・残留熱除去系海水系ストレーナ ・主排気筒 ・中央制御室換気系冷凍機 ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口 ・配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り） ・非常用ガス処理系排気筒（配管部を含む。以下同じ。） ・原子炉建屋*
(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	・中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む。），非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト ・原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）
(4) 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設 a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設 b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設	a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設 ・サービス建屋 ・海水ポンプエリア防護壁 ・鋼製防護壁 b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設 ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器 ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管 ・残留熱除去系海水系配管（放出側） ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）

注記　＊：原子炉建屋は屋外の外部事象防護対象施設であるが，竜巻より防護すべき施設を内包する機能も有することから，強度評価においては「竜巻より防護すべき施設を内包する施設」の分類で評価する。

3.　構造強度設計

Ⅴ-1-1-2-3-1 で設定している設計竜巻に対し，「2.1　評価対象施設」で設定している施設が，構造強度設計上の性能目標を達成するように，Ⅴ-1-1-2-3-3 の「4.　機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえ，構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，各施設の構造強度を維持するように構造設計と評価方針を設定する。

3.1　構造強度の設計方針

V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するための設計方針を「2.1　評価対象施設」で設定している評価対象施設分類ごとに示す。

(1)　竜巻より防護すべき施設を内包する施設

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び軽油貯蔵タンクタンク室は，V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.3(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，設計飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突することを防止するために，竜巻より防護すべき施設を内包する施設のうち，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材を設計飛来物が貫通せず，また，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないために，竜巻より防護すべき施設を内包する施設のうち，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材の転倒及び脱落が生じない設計とする。なお，外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設に整理している，海水ポンプエリア防護壁についても，竜巻より防護すべき施設を内包する施設としての機能を期待する部位を含んでいることから，当該部位についても，上記の設計方針に準じた設計とする。

(2)　屋外の外部事象防護対象施設

a.　残留熱除去系海水系ポンプ

残留熱除去系海水系ポンプは，V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c.　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定するとともに，ポンプの機能維持に必要な付属品を本体にボルト固定し，主要な構造部材が海水の送水機能を維持可能な構造強度を有すること及び海水を送水するための動的機能を維持する設計とする。

b.　残留熱除去系海水系ストレーナ

残留熱除去系海水系ストレーナは，V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c.　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定し，主要な構造部材が海水中の固形物を除去する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

c.　主排気筒

主排気筒は，V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c.　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，主排気筒の支持架構にサポートで支持し，主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

NT2 補② V-3-別添 1-1 R7

d. 中央制御室換気系冷凍機

中央制御室換気系冷凍機は，V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1) c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，原子炉建屋付属棟屋上面に取付ボルトで固定し，主要な構造部材が中央制御室の空調用冷水を冷却する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

e. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し，主要な構造部材がディーゼル発電機室内の空気の排出機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

f. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは，V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定するとともに，ポンプの機能維持に必要な付属品を本体にボルト固定し，主要な構造部材が海水の送水機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。また，海水を送水するための動的機能を維持する設計とする。

g. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定し，主要な構造部材が海水中の固形物を除去する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

h. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，脚部を原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に固定し，主要な構造部材がディーゼル発電機の吸気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

i. 配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）

配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）は，V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，海水ポンプ室床面及び原子炉付属棟屋上床面に設けたコンクリート基礎，支持架構に固定又は壁面にサポートで支持し，主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

a. 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は，V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，原子炉建屋の壁面等にサポートで支持し，主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

b. 隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））

隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は，V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，中央制御室換気系又は原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部）のダクトに固定し，開閉可能な機能及び閉止性の維持を考慮して主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

c. ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）

ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）は，V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，原子炉建屋の床面等に基礎ボルトで固定し，主要な構造部材が中央制御室の冷却に必要な風量を送風する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

「(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設」の屋内の外部事象防護対象施設の設計フローを図 3-1 に示す。

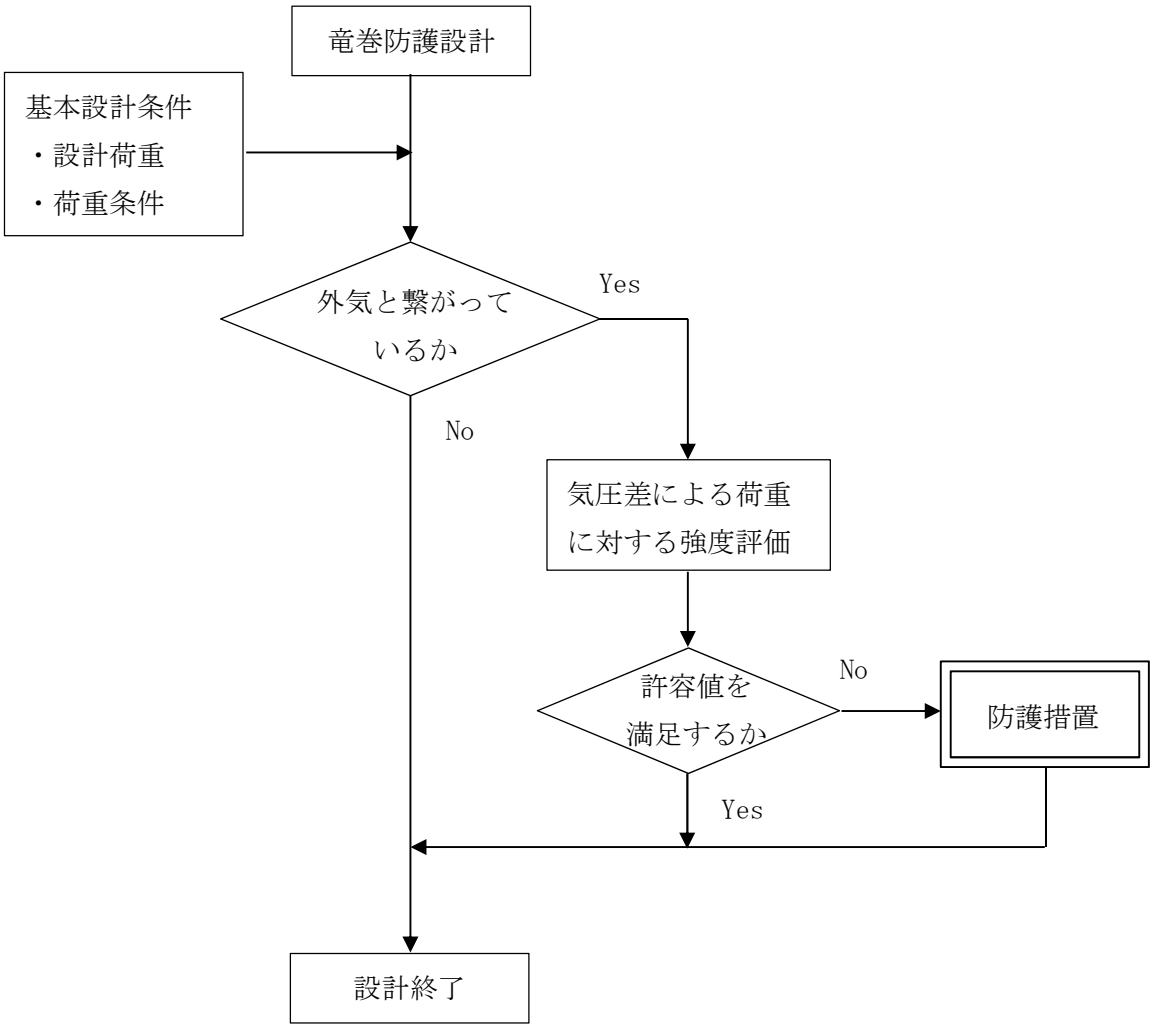


図 3-1　屋内の外部事象防護対象施設の設計フロー

(4)　外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

a.　機械的影響を及ぼす可能性がある施設

(a)　サービス建屋

サービス建屋は，V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋及びタービン建屋に接触による影響を及ぼさない設計とする。

(b)　海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁は，V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，外部事象防護対象施設に接触による影響を及ぼさない設計とする。

(c)　鋼製防護壁

鋼製防護壁は，V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，外部事象防護対象施設に接触による影響を及ぼさない設計とする。

b.　機能的影響を及ぼす可能性がある施設

(a)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器は，V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，排気機能を維持するために，原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を取付ボルト又は基礎ボルトで固定し，主要な構造部材が排気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(b)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管は，V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，排気機能を維持するために，サポートによる支持で建屋壁面等に固定し，主要な構造部材が排気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(c)　残留熱除去系海水系配管（放出側）

残留熱除去系海水系配管（放出側）は，V-1-1-2-3-3 の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.4(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，海水放出機能を維持するため

に，サポート又は架台による支持で固定し，主要な構造部材が海水放出機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(d) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）は，Ⅴ-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.4(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，海水放出機能を維持するために，サポート又は架台による支持で固定し，主要な構造部材が海水放出機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

3.2 機能維持の方針

Ⅴ-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するために，「3.1 構造強度の設計方針」に示す設計方針を踏まえ，Ⅴ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を適切に考慮して，各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の機能維持の方針は，施設の設置状況に応じ，以下の方針とする。

a. 建屋（原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋）

(a) 構造設計

建屋は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

建屋に作用する荷重は，外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁又は鉄骨架構を介し，直接岩盤等に支持する基礎版へ伝達する構造とする。

建屋の構造計画を表 3-1 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

建屋の衝突評価については，飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために，飛来物による衝撃荷重に対し，当該部材が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

最小厚さ以上であることの確認ができない場合は，当該部材が設計飛来物の運動エネルギを吸収できること，又は，鋼板部については終局状態に至るひずみを生じないこと，若しくは鉄筋コンクリート部については鉄筋が終局状態に至るひずみを生じないことを確認する。評価方法としては，「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限

界厚さ評価式を基にして算出した吸収エネルギ，又はＦＥＭを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

ロ．　構造強度評価

建屋の構造強度評価については，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えない確認として，設計飛来物による衝撃荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部材自体の脱落を生じない設計とするために，外殻となる屋根スラブ及び壁面のうち，コンクリートの裏面剥離により内包する外部事象防護対象施設への影響が考えられる箇所については，裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.1.1(3)　強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。最小厚さ以上であることの確認ができない場合は，屋根スラブのデッキプレート及び外壁内面に設置したライナが終局状態に至るようなひずみを生じないこと，内貼り材の無い壁面については，鉄筋が実験結果を基に設定した裏面剥離に至るひずみを生じないことを解析により確認する。評価方法としては，ＦＥＭを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

また，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，屋根スラブ，屋根スラブのスタッド及び構造躯体に終局状態に至るようなひずみ又は応力が生じないことを計算及び解析により確認する。評価方法としては，「5.1.2(3)　強度評価方法」に示す強度評価式により算出した応力等並びに建屋の地震応答解析モデルを用いて算出したせん断ひずみを基に評価を行う。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる扉については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，扉支持部材の破断による転倒及び脱落を生じないことを計算により確認する。

表 3-1　建屋の構造計画(1/6)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋				

表 3-1　建屋の構造計画(2/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋	鉄筋コンクリート造の主体構造及び鉄骨造の陸屋根で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。	

表 3-1　建屋の構造計画(3/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋			

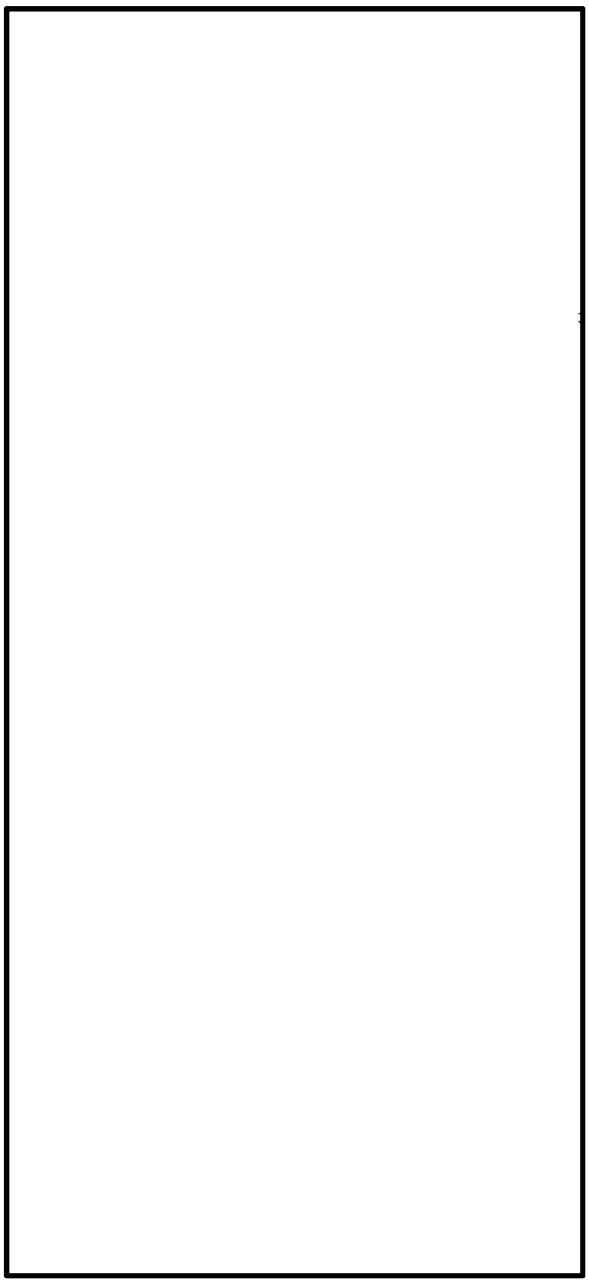
表 3-1　建屋の構造計画(4/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋			

表 3-1　建屋の構造計画(5/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
タービン建屋	鉄筋コンクリート造の主体構造及び鉄骨造の陸屋根で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。	

表 3-1　建屋の構造計画(6/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，基礎版へ伝達する構造とする。	

b.　構造物（軽油貯蔵タンクタンク室）

(a)　構造設計

軽油貯蔵タンクタンク室は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

軽油貯蔵タンクタンク室は，地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし，地上部には頂版及び開口が露出し，露出する開口部には鋼製の蓋を設置する構造とする。

軽油貯蔵タンクタンク室に作用する荷重は，地上に露出した頂版及び鋼製蓋に作用し，鉄筋コンクリート造の躯体を介し，直接岩盤等に支持する基礎版へ伝達する構造とする。

軽油貯蔵タンクタンク室の構造計画を表 3-2 に示す。

(b)　評価方針

イ．　衝突評価

軽油貯蔵タンクタンク室の衝突評価については，設計飛来物による衝撃荷重に対し，設計飛来物が竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために，地上に露出した頂版及び鋼製蓋が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.1.1(3)　強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

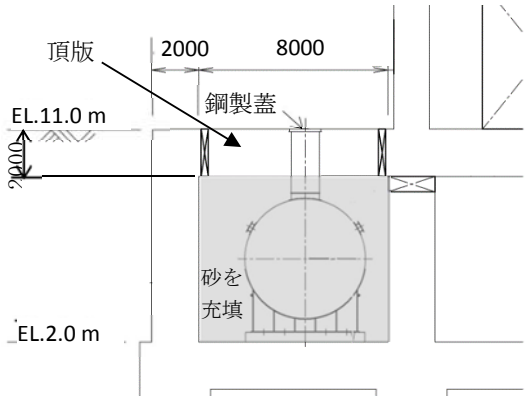
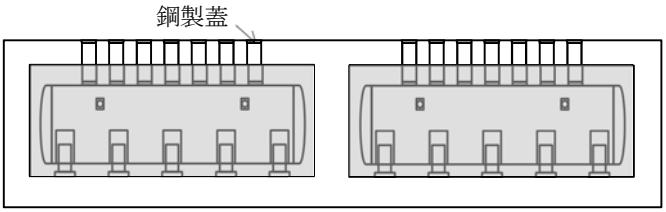
ロ．　構造強度評価

軽油貯蔵タンクタンク室の構造強度評価については，設計飛来物による衝撃荷重に対し，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないよう，軽油貯蔵タンクタンク室の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために，頂版が裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.1.1(3)　強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

表 3-2　軽油貯蔵タンクタンク室の構造計画(1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
構造物				

表 3-2　軽油貯蔵タンクタンク室の構造計画(2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
軽油貯蔵タンクタンク室	地下に埋設された外殻の躯体を鉄筋コンクリート造とし，地上部に露出する頂版及び開口部は鋼製蓋により構成する。	荷重は地上に露出した鉄筋コンクリート造の頂版及び鋼製蓋に作用し，鉄筋コンクリート造の躯体を介し，基礎版へ伝達する設計とする。	 （南北方向断面）  （東西方向断面）

(2)　屋外の外部事象防護対象施設

a.　残留熱除去系海水系ポンプ

(a)　構造設計

残留熱除去系海水系ポンプは，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

残留熱除去系海水系ポンプは，鋼製の立形ポンプの上に原動機を取り付け，原動機によりポンプの軸を回転させる構造とする。

ポンプはコンクリート基礎に据付面基礎ボルトで固定し，原動機はポンプの上の原動機台にボルトで結合する構造とする。端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は，原動機にボルトで結合する。また，作用する荷重については，各取付ボルトを介して接続する構造部材に伝達し，据付面基礎ボルトに伝達する構造とする。

残留熱除去系海水系ポンプの構造計画を表 3-3 に示す。

(b)　評価方針

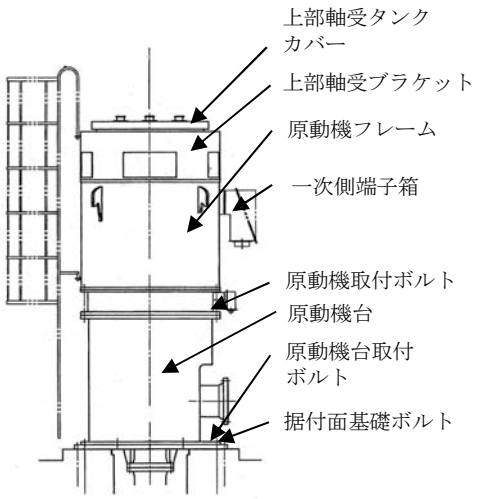
イ.　構造強度評価

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，残留熱除去系海水系ポンプ及びポンプの機能維持に必要な付属品を支持する据付面基礎ボルト及び各取付ボルト並びにポンプの機能維持に必要な付属品を支持する原動機フレームに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.2(1)c.　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ロ.　動的機能維持評価

残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，軸受部における発生荷重が，動的機能を維持可能な許容荷重以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.2(1)c.　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した荷重を基に評価を行う。

表 3-3　残留熱除去系海水系ポンプの構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">施設名称</th><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">説明図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】
残留熱除去系海水系ポンプは，海水ポンプ室に設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>残留熱除去系海水系ポンプ</td><td>鋼製の立形ポンプ</td><td>コンクリート基礎に据付面基礎ボルトで固定する。</td><td rowspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>残留熱除去系海水系ポンプ原動機</td><td>鋼製の原動機フレームに付属品が取り付けられた構造</td><td>ポンプの上にボルト（原動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。</td></tr>
</table>

b.　残留熱除去系海水系ストレーナ

(a)　構造設計

残留熱除去系海水系ストレーナは，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

残留熱除去系海水系ストレーナは，胴板と支持脚が鋳物一体となった円筒型の容器を並べて組み合わせ，支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。また，作用する荷重については，支持脚を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

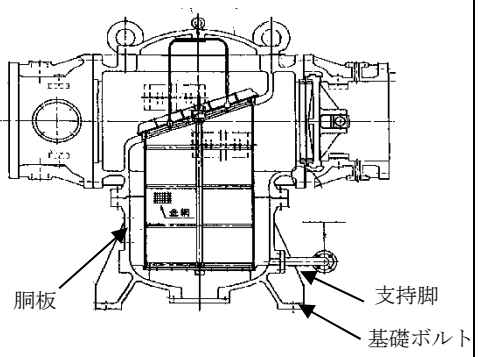
残留熱除去系海水系ストレーナの構造計画を表 3-4 に示す。

(b)　評価方針

イ．　構造強度評価

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，残留熱除去系海水系ストレーナを支持する基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.3(1)c.　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-4　残留熱除去系海水系ストレーナの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 残留熱除去系海水系ストレーナは，海水ポンプ室に設置する設計としている。			
残留熱除去系海水系ストレーナ	胴板及び支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を組み合わせて構成する。	支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

c.　主排気筒

(a)　構造設計

主排気筒は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

主排気筒の筒身は，鋼管を主体構造とし，筒身を支持する鉄塔にサポート及びダンパで支持する構造とする。また，作用する荷重については，筒身及び鉄塔を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

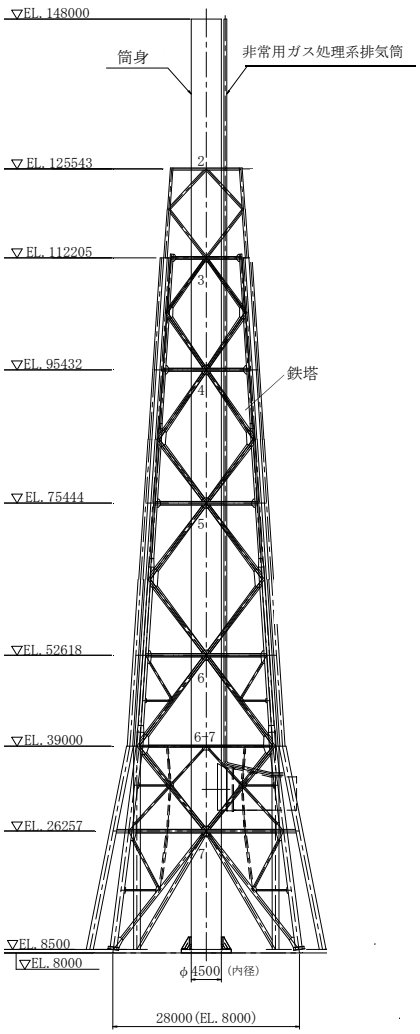
主排気筒の構造計画を表 3-5 に示す。

(b)　評価方針

イ．　構造強度評価

主排気筒の構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，筒身及び鉄塔に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.4(3)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-5　主排気筒の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 主排気筒は，屋外に設置する設計としている。			
主排気筒	鋼管で構成する。	筒身を支持する鉄塔にサポート及びダンパで支持する。	

d.　中央制御室換気系冷凍機

(a)　構造設計

中央制御室換気系冷凍機は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

中央制御室換気系冷凍機は，空調用冷水を冷却する熱交換器，圧縮機等を鋼製のケーシングで覆ったユニット形式とし，原子炉建屋付属棟屋上面に取付ボルトで固定する構造とする。また，作用する荷重については，ケーシングに作用し，取付ボルトに伝達する構造とする。

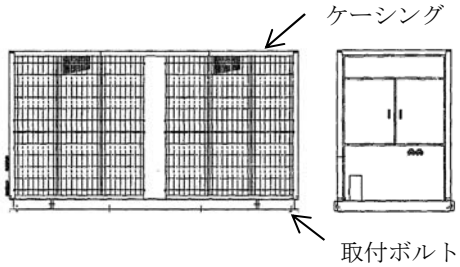
中央制御室換気系冷凍機の構造計画を表 3-6 に示す。

(b)　評価方針

イ．　構造強度評価

中央制御室換気系冷凍機の構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，中央制御室換気系冷凍機のケーシングを支持する取付ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.6(1)c.　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-6　中央制御室換気系冷凍機の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 中央制御室換気系冷凍機は，原子炉建屋付属棟屋上面に設置する設計としている。			
中央制御室換気系冷凍機	空調用冷水を冷却する熱交換器，圧縮機等を鋼製のケーシングで覆ったユニット形式で構成する。	原子炉建屋付属棟屋上面に取付ボルトで固定する。	

e. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン

(a) 構造設計

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，鋼製のケーシング，ケーシング部より上部の吐出フード及びケーシング内の羽根車を主体構造とし，原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定する構造とする。また，作用する荷重については，吐出フード及びケーシングに作用し，吐出フード取付ボルト，基礎ボルトに伝達する構造とする。

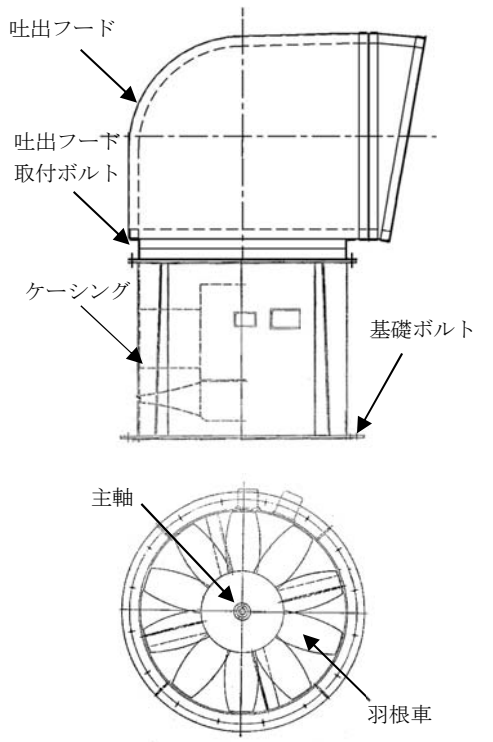
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの構造計画を表3-7に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンを構成する吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.6(4)c. 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-7　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，原子炉建屋付属棟屋上面に設置する設計としている。			
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン	ケーシング，吐出フード及びケーシング内の主軸，羽根車で構成する。	原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

f.　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

(a)　構造設計

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-2-3-1の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは，鋼製の立形ポンプの上に原動機を取り付け，原動機によりポンプの軸を回転させる構造とする。

ポンプはコンクリート基礎に据付面基礎ボルトで固定し，原動機はポンプの上の原動機支え台にボルトで結合する構造とする。端子箱等のポンプの機能維持に必要な付

属品は，原動機にボルトで結合する。また，作用する荷重については，各取付ボルトを介して接続する構造部材に伝達し，据付面基礎ボルトに伝達する構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの構造計画を表 3-8 に示す。

(b) 評価方針

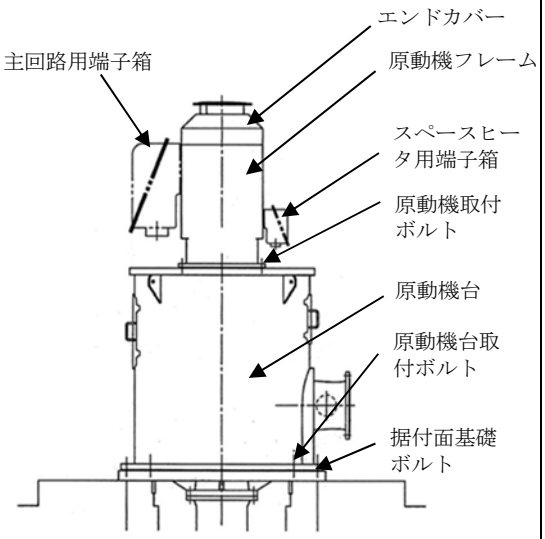
イ． 構造強度評価

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ及びポンプの機能維持に必要な付属品を支持する据付面基礎ボルト及び各取付ボルト並びにポンプの機能維持に必要な付属品を支持する原動機フレームに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.2(1)c.　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ロ． 動的機能維持評価

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの動的機能維持評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，軸受部における発生荷重が，動的機能を維持可能な許容荷重以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.2(1)c.　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した荷重を基に評価を行う。

表 3-8　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">施設名称</th><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">説明図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは，海水ポンプ室に設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ</td><td>鋼製の立形ポンプ</td><td>コンクリート基礎に据付面基礎ボルトで固定する。</td><td rowspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ原動機</td><td>鋼製の原動機フレームに付属品が取り付けられた構造</td><td>ポンプの上にボルト（原動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。</td></tr>
</table>

g.　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

(a)　構造設計

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1の「2.1.3 (2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，胴板と支持脚が鋳物一体となった円筒型の容器を並べて組み合わせ，支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。また，作用する荷重については，支持脚を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

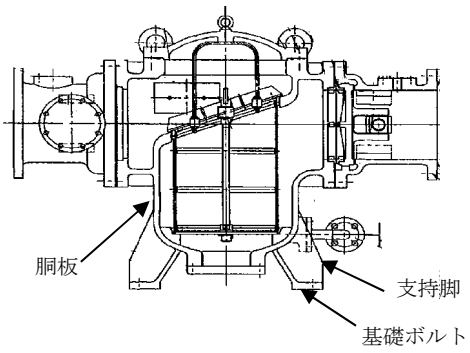
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの構造計画を表 3-9 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナを支持する基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.3(1)c. 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-9 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，海水ポンプ室に設置する設計としている。			
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ	胴板及び支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を組み合わせて構成する。	支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

h. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口

(a) 構造設計

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-2-3-1 の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の構造は鋼製の 4 脚たて置円筒形容器構造を主体構造とし，支持脚は原子炉建屋付属

NT2 補② V-3-別添 1-1 R7

棟屋上面に設けたコンクリート基礎の基礎プレートに溶接により固定する構造とする。

また，作用する荷重については，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口に作用し，支持脚及び支持脚基礎溶接部に伝達される構造とする。

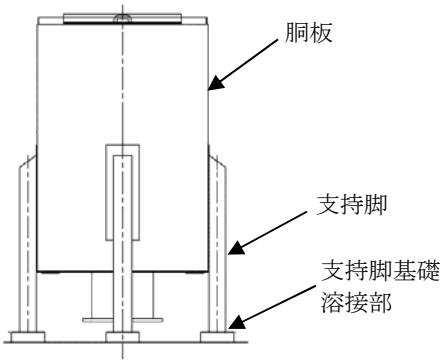
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の構造計画を表 3-10 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.3(2)c. 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-10 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">施設名称</th><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">説明図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td colspan="4">【位置】
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，原子炉建屋付属棟屋上面に設置する設計としている。</td></tr>
<tr><td>非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口</td><td>鋼製の円筒形容器及び支持脚から構成する。</td><td>原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎の基礎プレートに溶接で固定する。</td><td> 
</td></tr>
</table>

i. 配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）

(a) 構造設計

配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）は，鋼製の配管本体及び弁を主体構造とし，支持構造物により床及び壁等に支持する構造とする。また，作用する荷重については，配管本体に作用する構造とする。

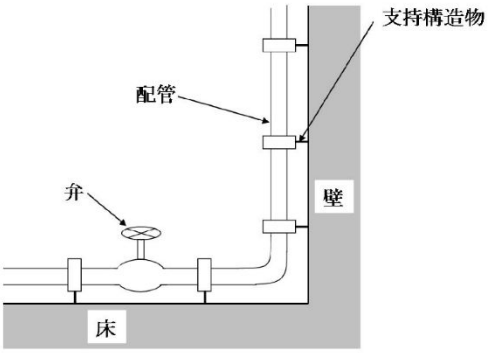
配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）の構造計画を表 3-11 に示す。

(b) 評価方針

イ． 構造強度評価

配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）の構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.5(3)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-11　配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）は，海水ポンプ室及び原子炉建屋付属棟屋上の中央制御室換気系冷凍機エリア並びに原子炉建屋壁面及び主排気筒の支持鉄塔で支持する設計としている。			
配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）	鋼製の配管本体及び弁で構成する。	配管本体及び弁は，支持構造物により床及び壁等から支持する。	

(3)　外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

a.　角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））

(a)　構造設計

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気

系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は，鋼製のダクトを主体構造とし，支持構造物により建屋壁，床及び梁等に支持する構造とする。また，作用する荷重については，ダクト鋼板に作用する構造とする。

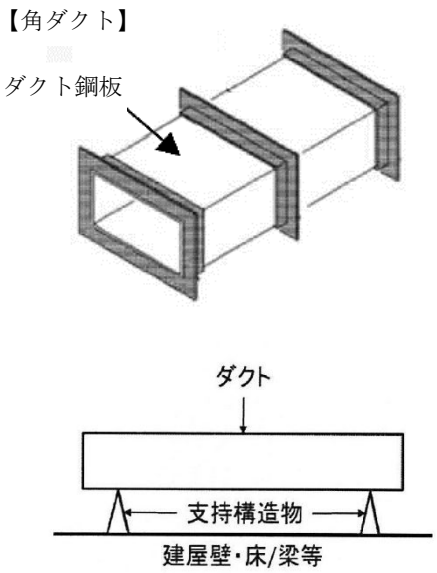
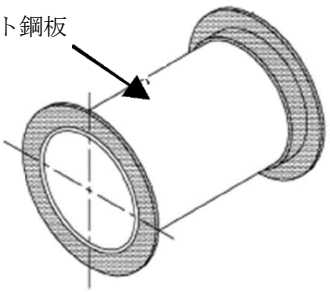
角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））の構造計画を表 3-12 に示す。

(b) 評価方針

イ． 構造強度評価

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））を構成するダクト鋼板に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，ダクト形状で評価方法を分類し「5.2.6(2)a.(c)　強度評価方法」及び「5.2.6(2)b.(c)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-12　角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋）に設置する設計としている。			
角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））	鋼製のダクトで構成する。	ダクトは，支持構造物により建屋壁，床及び梁等から支持する。	【角ダクト】  【丸ダクト】 

b. 隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））

(a) 構造設計

隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

隔離弁は，弁箱，弁体及び弁棒で構成し，接続ダクトで支持する構造とする。内部の弁体，弁棒が回転することにより弁の開閉動作を行う構造とし，閉止時には，上流と下流の圧力差が気密性を有する弁の耐圧部に作用する構造とする。

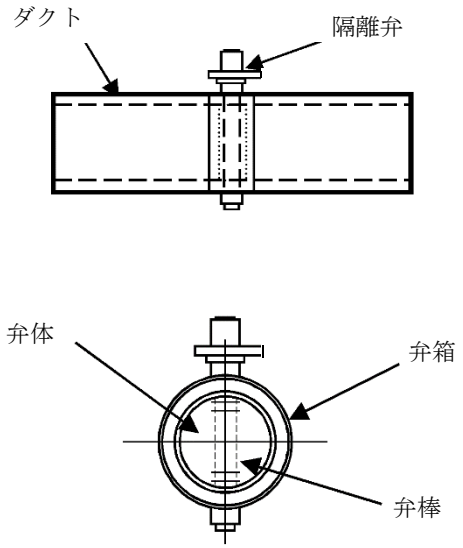
隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））の構造計画を表3-13に示す。

(b) 評価方針

イ． 構造強度評価

隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））の構造強度評価については，開閉可能な機能及び閉止性を考慮して，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.6(3)c. 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-13　隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋）内に設置する設計としている。			
隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））	弁箱，弁体及び弁棒で構成する。	接続ダクトで支持する。	

c.　ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）

(a)　構造設計

ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-2-3-1の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

ファンは流路を形成するケーシング，冷却するための空気を送り込む羽根車及び原動機からの回転力を伝達する主軸で形成し，床に基礎ボルトで支持する構造とする。

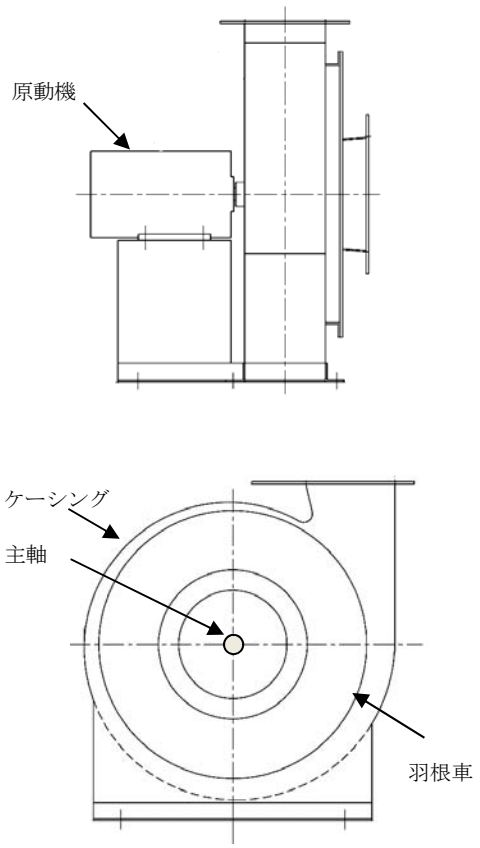
ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）の構造計画を表 3-14 に示す。

(b)　評価方針

イ．　構造強度評価

ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.6(3)c.　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-14　ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋）内に設置する　設計としている。			
ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）	ケーシング及びケーシング内の主軸，羽根車で構成する。	床に基礎ボルトで支持する。	

(4)　外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

a.　機械的影響を及ぼす可能性がある施設

(a)　サービス建屋

イ．　構造設計

サービス建屋は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

サービス建屋は，発電所建設時に設置した部分（以下「既設部」という。）及び，その後に増設した部分（以下「増設部」という。）で構成され，既設部及び増設部並びに原子炉建屋及びタービン建屋は，それぞれ構造的に独立した建物であ

る。本評価では原子炉建屋及びタービン建屋に隣接する既設部を対象とする。（以下，「サービス建屋」という場合は，既設部を指す。）

サービス建屋は，鉄筋コンクリート造のラーメン構造とし，荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。

サービス建屋の構造計画を表 3-15 に示す。

ロ．　評価方針

（イ）　構造強度評価

サービス建屋の構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，サービス建屋が原子炉建屋及びタービン建屋に接触する変形を生じないことを計算により確認する。評価方法としては，サービス建屋の地震応答解析モデルを用いて算出した変位を基に評価を行う。

表 3-15　サービス建屋の構造計画(1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	基礎構造	
建屋				

表 3-15　サービス建屋の構造計画(2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	基礎構造	
サービス建屋	鉄筋コンクリート造のラーメン構造で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，建屋内に配置された耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。	

(b) 海水ポンプエリア防護壁

イ. 構造設計

海水ポンプエリア防護壁は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

海水ポンプエリア防護壁は，鉄筋コンクリート壁及び鉄骨架構並びに鋼板で構成し，また，飛来物に対する防護ネット及び防護鋼板を取り付ける架構としての役割も有する。荷重は防護壁に作用し，基礎へ伝達する構造とする。

海水ポンプエリア防護壁の構造計画を表 3-16 に示す。

ロ. 評価方針

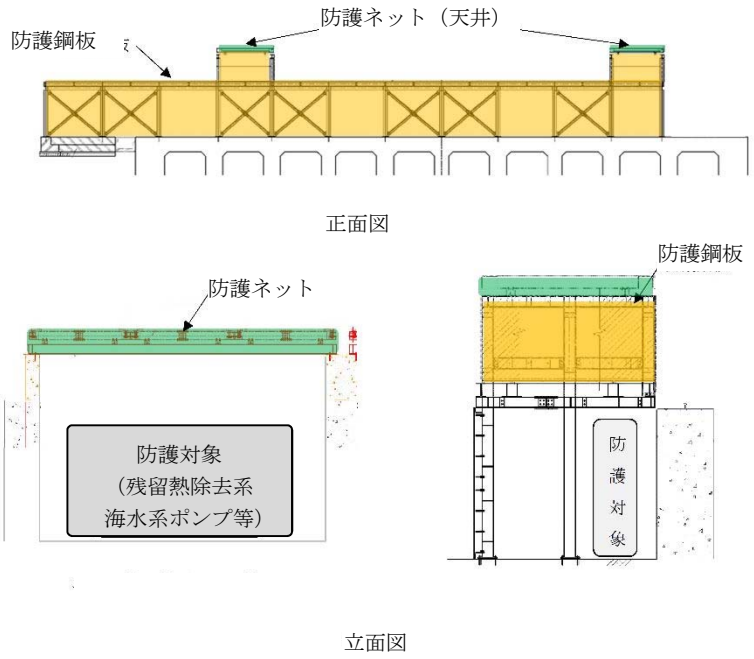
（イ） 構造強度評価

海水ポンプエリア防護壁の構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ，残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ（以下「残留熱除去系海水系ポンプ等」という。）に接触する変形を生じないことを計算により確認する。評価方法としては，当該防護壁の変形が弾性限界の範囲に留まることを確認する。

表 3-16　海水ポンプエリア防護壁の構造計画（1/2）

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	基礎構造	
構造物				

表 3-16　海水ポンプエリア防護壁の構造計画（2/2）

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
海水ポンプエリア防護壁	鉄筋コンクリート壁及び鉄骨架構並びに鋼板で構成する。	荷重は防護壁に作用し，基礎へ伝達する構造とする。	

(c)　鋼製防護壁

イ．　構造設計

鋼製防護壁は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-2-3-1の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

鋼製防護壁は防潮堤の一部であり，鉛直及び水平方向に配置された鋼板で構成される鋼殻構造で構成し，添接板と高力ボルトにより結合される，分割したブロックの集合体として全体を構成する。荷重は防護壁に作用し，基礎へ伝達する構造とする。

鋼製防護壁の構造計画を表 3-17 に示す。

ロ．　評価方針

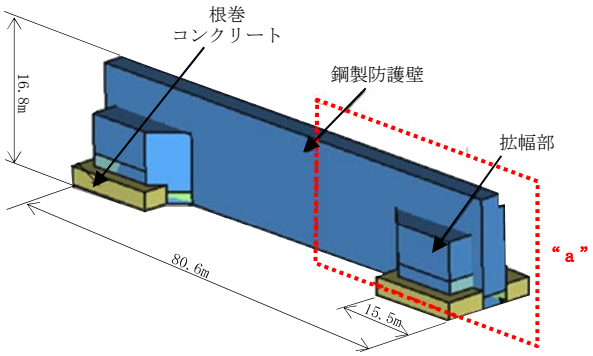
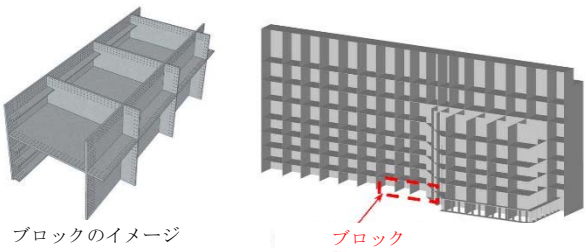
（イ）　構造強度評価

鋼製防護壁の構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，鋼製防護壁に転倒が生じないことを計算により確認する。評価方法としては，「5.1.2(3)　強度評価方法」に示す評価式により算出した設計竜巻の風圧力による荷重が，津波による荷重に包絡されることを確認する。

表 3-17　鋼製防護壁の構造計画（1/2）

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	基礎構造	
構造物				

表 3-17　鋼製防護壁の構造計画（2/2）

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
鋼製防護壁	鉛直及び水平方向に配置された鋼板で構成される鋼殻構造であり，添接板と高力ボルトにより結合される，分割したブロックの集合体として全体を構成する。	荷重は防護壁に作用し，基礎へ伝達する構造とする。	 （鳥瞰図）  （内部透視図（“a”部））

b.　機能的影響を及ぼす可能性がある施設

(a)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器

イ．　構造設計

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器の設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器は，鋼製の胴板を主体構造とし，原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を取付ボルト又は基礎ボルトで固定する構造とする。また，作用する荷重については，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器を介し，取付ボルト又は基礎ボルトに伝達する構造とする。

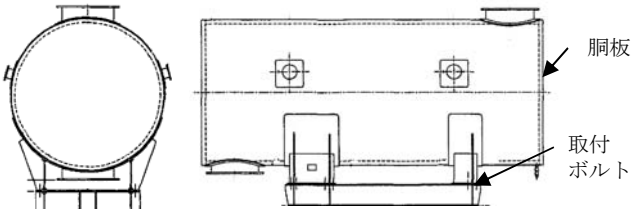
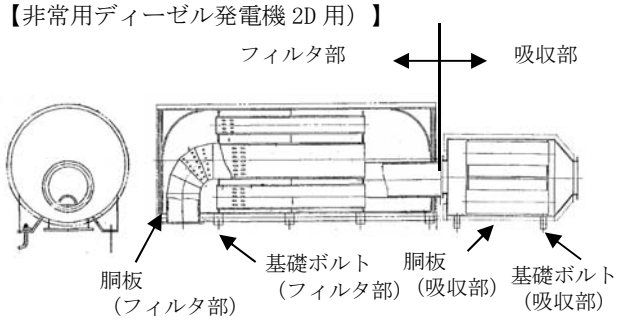
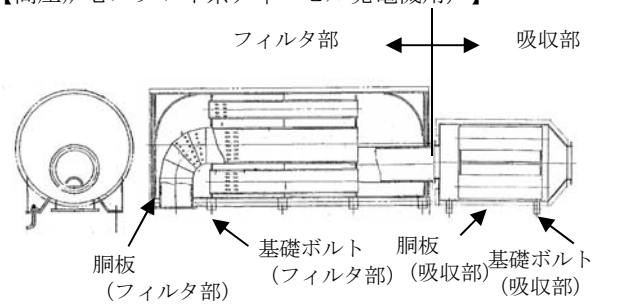
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器の構造計画を表 3-18 に示す。

ロ．　評価方針

（イ）　構造強度評価

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器の構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器の取付ボルト又は基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.2(3)c.　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-18　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
排気消音器の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器	鋼製の胴板で構成する。	原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を取付ボルト又は基礎ボルトで固定する。	【非常用ディーゼル発電機 2C 用）】  【非常用ディーゼル発電機 2D 用）】  【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用）】 

(b) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びに非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）

イ． 構造設計

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びに非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びに非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）の設計方針及びⅤ-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並び非常用にディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）は，鋼製の配管を主体構造とし，サポートによる支持で建屋壁面等に固定する構造とする。また，作用する荷重については，配管本体からサポートを介して建屋壁及び床等に作用する構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びに非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）の構造計画を表 3-19 に示す。

ロ． 評価方針

（イ） 構造強度評価

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びに非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）の構造強度評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，排気配管，ベント管及び放出配管の配管本体及びサポート部に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.5(3)　強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-19　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びに非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）の構造計画

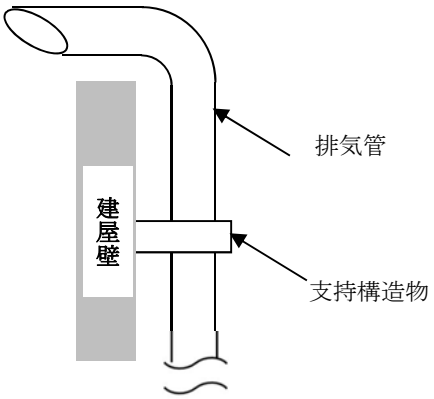
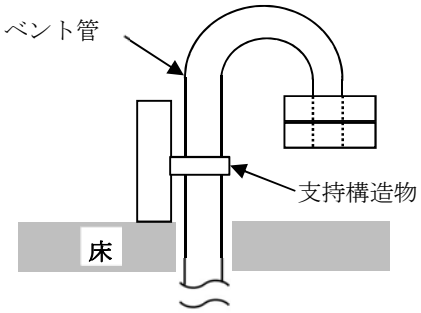
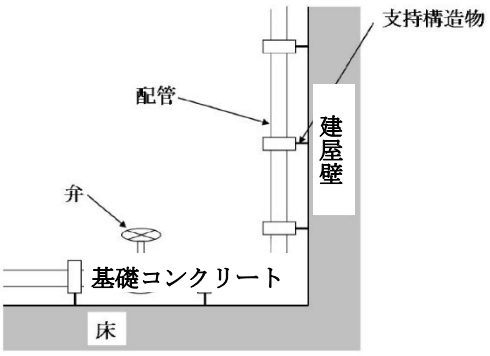
施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管	鋼製の配管で構成する。	サポートによる支持で建屋壁面等に固定する。	
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属ベント配管			
残留熱除去系海水系配管（放出側） 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）			

表 3-20　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位(1/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋	屋根スラブ（デッキプレート含む。），外壁，構造躯体	衝突	貫通ひずみ	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部に貫通が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる外壁及び屋根スラブ（鉄筋を含む。）を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる外壁及び屋根スラブを評価対象部位として選定する。
				転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への竜巻による荷重の作用を考慮し，当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため，構造躯体及び屋根スラブを評価対象部位として選定する。
		・原子炉建屋大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉（潜戸含む。）及び内側扉） ・原子炉建屋付属棟 1 階電気室搬入口水密扉 ・原子炉建屋付属棟1階東側水密扉 ・原子炉建屋付属棟1階南側水密扉 ・原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉 ・原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉 ・原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉 ・原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉 ・原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉 ・空調機械室搬入口扉（潜戸含む。） ・原子炉建屋付属棟 4 階南東側機器搬入口扉	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部に貫通が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる竜巻の影響に対する防護を期待する扉の扉板を評価対象部位として選定する。
			構造強度	転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への竜巻の気圧差による荷重の作用を考慮し，当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため，竜巻の影響に対する防護を期待する扉の扉板を固定する部位（カンヌキ若しくはボルト）を評価対象部位として選定する。

表 3-20　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位(2/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	タービン建屋	外部事象防護対象施設が設置されている区画の建屋内壁，構造躯体	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部に貫通が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設が設置されている区画の天井床版及び建屋内壁を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設が設置されている区画の天井床版及び建屋内壁を評価対象部位として選定する。
				転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への竜巻による荷重の作用を考慮し，当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため，構造躯体を評価対象部位として選定する。
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	屋根スラブ，外壁	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物等の衝突を考慮し，当該部に貫通が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる外壁及び屋根スラブを評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物等の衝突を考慮し，当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる外壁及び屋根スラブを評価対象部位として選定する。
				転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への竜巻による荷重の作用を考慮し，当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる外壁及び屋根スラブを評価対象部位として選定する。

表 3-20　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位(3/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	軽油貯蔵タンク タンク室	鋼製蓋	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部に貫通が生じないことを確認するため，外部に露出している部位である鋼製蓋を評価対象部位として選定する。
		頂版	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部に貫通が生じないことを確認するため，外部に露出している部位である頂版を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため，外部に露出している部位である頂版を評価対象部位として選定する。

表 3-20　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位(4/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設	残留熱除去系海水系ポンプ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	外殻に面する部分への設計飛来物の衝突を考慮し，ポンプ据付面より上部の全方向からの飛来物を考慮し，外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため，ポンプを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		基礎ボルト 取付ボルト 原動機フレーム	構造強度	海水ポンプ	設計竜巻による荷重の影響を受けるポンプ据付面より上部の各部位のうち，支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため，基礎ボルト，本体各部取付けボルト及び主要構造部材である原動機フレームを評価対象部位として選定する。
		軸受部	機能維持	海水ポンプ	ポンプ据付面より上部に竜巻により荷重を受けた際に，原動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため，動的機能維持に必要な軸受部を評価対象部位として選定する。
	残留熱除去系海水系ストレーナ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	ストレーナの全方向からの飛来物を考慮し，外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため，ストレーナを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		基礎ボルト	構造強度	海水ストレーナ	設計竜巻による荷重により発生する応力は，胴板及び支持脚と比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

表 3-20　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位(5/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設	主排気筒	筒身，鉄塔	構造強度	主排気筒	竜巻の風圧力による荷重は，筒身及び鉄塔に作用するため，これらを評価対象部位として選定する。
	中央制御室換気系冷凍機	外殻を構成する部材	衝突	貫入	冷凍機の全方向からの飛来物を考慮し，外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため，冷凍機を構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		取付ボルト	構造強度	冷凍機	設計竜巻による荷重は，ケーシングを介し，冷凍機を固定している取付ボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち，支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。 このことから，取付ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）ルーフベントファン	外殻を構成する部材	衝突	貫入	ファンの全方向からの飛来物を考慮し，外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため，ファンを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		吐出フード取付ボルト 基礎ボルト	構造強度	ファン	設計竜巻による荷重は，吐出フード及びケーシングに作用し，吐出フード取付ボルト，基礎ボルトに伝達されるが，荷重を受ける各部位のうち，支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。 このことから，吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。

表 3-20　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位(6/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	外殻に面する部分への設計飛来物の衝突を考慮し，ポンプ据付面より上部の全方向からの飛来物を考慮し，外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため，ポンプを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		基礎ボルト 取付ボルト 原動機フレーム	構造強度	海水ポンプ	設計竜巻による荷重の影響を受けるポンプ据付面より上部の各部位のうち，支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため，基礎ボルト，本体各部取付けボルト及び主要構造部材である原動機フレームを評価対象部位として選定する。
		軸受部	機能維持	海水ポンプ	ポンプ据付面より上部に竜巻により荷重を受けた際に，原動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため，動的機能維持に必要な軸受部を評価対象部位として選定する。
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	ストレーナの全方向からの飛来物を考慮し，外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため，ストレーナを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		基礎ボルト	構造強度	海水ストレーナ	設計竜巻による荷重により発生する応力は，胴板及び支持脚と比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

表 3-20　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位(7/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目 分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口	胴板 支持脚 支持脚基礎溶接部	構造強度	ディーゼル発電機吸気口	設計竜巻による荷重は，ディーゼル発電機吸気口の胴板に作用し，支持脚及び支持脚基礎溶接部に伝達される。 このことから，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部を評価対象部位として選定する。
	配管及び弁 （残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）	外殻を構成する部材	衝突	貫入	配管の全方向からの飛来物を考慮し，貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として配管の最小板厚部を選定する。
		配管本体	構造強度	配管及び弁	竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重は，配管仕様と支持間隔による受圧面積に応じて配管本体に作用するため，配管本体を評価対象部位として選定する。

表 3-20　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位(8/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
屋内の外部事象防護対象施設（外気と繋がっている）	角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））	ダクト鋼板	構造強度	ダクト	換気空調設備のダクトは，建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，竜巻の気圧差による荷重が考えられるため，ダクト本体の鋼板部を評価対象部位として選定する。
	隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））	弁箱 弁体 弁棒	構造強度	隔離弁	換気空調設備の隔離弁は，建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，竜巻の気圧差による荷重が耐圧部に作用することから，耐圧部である弁箱，弁体，弁棒を評価対象部位として選定する。
	ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）	ケーシング	構造強度	ファン	換気空調設備のファンは，建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，竜巻の気圧差による荷重が耐圧部に作用することから，耐圧部であるケーシングを評価対象部位として選定する。

表 3-20　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位(9/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	サービス建屋	耐震壁	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への接触による波及的影響を考慮し，サービス建屋の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。
	海水ポンプエリア防護壁	鉄筋コンクリート壁 鉄骨架構	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する区画の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部に貫通が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設が設置されている区画の鉄筋コンクリート壁を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する区画の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し，当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため，竜巻より防護すべき施設が設置されている区画の鉄筋コンクリート壁を評価対象部位として選定する。
				変形	竜巻より防護すべき施設への接触による波及的影響を考慮し，構造躯体である鉄筋コンクリート壁及び鉄骨架構を評価対象部位として選定する。
	鋼製防護壁	上部工（鋼殻構造部）	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設への接触による波及的影響を考慮し，構造躯体である上部工（鋼殻構造部）を評価対象部位として選定する。

表 3-20　竜巻の影響を考慮する施設　強度評価対象部位(10/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器	基礎ボルト 取付ボルト	構造強度	消音器	設計竜巻による荷重の影響を受ける消音器据付面より上部の各部位のうち，排気消音器の転倒による閉塞により，ディーゼル発電機の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し，転倒を防止するための主要な支持部材のうち，荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し，更に支持断面積が小さいことから発生する応力が厳しくなる取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象部位として設定する。
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管	配管本体	構造強度	配管及び弁	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管の主要な機能である流路形成機能を維持するために，主要な構成部材である配管本体を評価対象部位として選定する。
	残留熱除去系海水系配管（放出側）	配管本体	構造強度	配管及び弁	海水配管（放出側）の主要な機能である流路形成機能を維持するために，主要な構成部材である配管本体を評価対象部位として選定する。
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）	配管本体	構造強度	配管及び弁	海水配管（放出側）の主要な機能である流路形成機能を維持するために，主要な構成部材である配管本体を評価対象部位として選定する。

4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを，「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1　荷重及び荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは，V-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。

(1)　荷重の種類

a.　常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重，水頭圧及び上載荷重とする。

b.　竜巻による荷重(W_T)

竜巻による荷重は，設計竜巻の以下の特性を踏まえ，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を表 4-1 に示す。

・竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})

$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$

ρ ：空気密度(＝1.22 kg/m^3)

V_{Rm}：竜巻の最大接線風速(m/s)

・竜巻の最大接線風速(V_{Rm})

$V_{Rm} = V_D - V_T$

V_D：竜巻の最大風速(m/s)

V_T：竜巻の移動速度(m/s)

・竜巻の移動速度(V_T)

$V_T = 0.15 \cdot V_D$

V_D：竜巻の最大風速(m/s)

表 4-1　設計竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m^2)
100	15	85	8900

(a)　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重は，竜巻の最大風速による荷重である。竜巻による最大風速は，一般的には水平方向の風速として設定されるが，鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる竜巻の影響を考慮する施設が存在する場合には，鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

風圧力による荷重は，施設の形状により変化するため，施設の部位ごとに異なる。そのため，各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し，各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数(G)は設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から，施設の形状によらず「竜巻影響評価ガイド」を参照して，G＝1.0 とする。空気密度(ρ)は「建築物荷重指針・同解説」((社) 日本建築学会 (2004 改定)) より ρ＝1.22 kg/m^3 とする。

設計用速度圧については施設の形状に影響を受けないため，設計竜巻の設計用速度圧(q)は施設の形状によらず q＝6100 N/m^2 と設定する。

(b) 気圧差による荷重(W_P)

外気と隔離されている区画の境界部など，気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻より防護すべき施設を内包する施設の建屋の壁，屋根等においては，竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設（通気がない施設）については，この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし設定することを基本とする。

部分的に閉じた施設（通気がある施設等）については，施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるよう作用する荷重を設定する。

気圧差による荷重は，施設の形状により変化するため，施設の部位ごとに異なる。そのため，各施設の部位ごとに荷重を算出する。

最大気圧低下量(ΔP_{max})は空気密度及び最大接線風速から，ΔP_{max}＝8900 N/m^2 とする。

(c) 飛来物による衝撃荷重(W_M)

鋼製材及び車両の衝突による影響が大きくなる向きで外部事象防護対象施設等に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。衝突評価においても，飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

但し，衝突荷重は瞬間的に作用するものであり，建物に対する鋼製材の衝突のように，飛来物に対し質量が十分に大きい施設の変形評価においては，全体的な変形直接もたらす荷重としての影響は軽微であると考えられる。一方で，鉄骨構造物の個々の構造部材（柱，はり）に損傷をもたらすことは考えられるため，飛来物に対し質量が十分に大きな鉄骨構造物の変形評価においては，評価モデルに一部の構造部材の損傷を仮定し，W_W及びW_pと組み合わせる形で考慮する。

飛来物の寸法，重量及び飛来速度を表 4-2 に示す。設計飛来物の飛来速度については，設置（変更）許可申請において示すとおり設定する。また，その他の飛来物については，解析コード「ＴＯＮＢＯＳ」を用いて算出した速度を飛来速度として設定する。

なお，評価に用いた解析コード「ＴＯＮＢＯＳ」の検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-9　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＴＯＮＢＯＳ」に示す。

表 4-2　飛来物の諸元

	鋼製材	砂利	車両
寸法(m)	4.2×0.3×0.2	0.04×0.04×0.04	3.6×2.5×8.6
質量(kg)	135	0.18	5000
水平方向の飛来速度(m/s)	51	62	52
鉛直方向の飛来速度(m/s)	34	42	－*

注記　＊：種々の車両の飛散解析結果と衝突対象建屋の屋根スラブの高さ及び厚さの関係から，車両が屋根に到達することは考え難く，仮に屋根に到達した場合でも，飛跡頂点から屋根までの落下距離は僅かであり，有意な衝突速度にならないと考えられるため。

c.　運転時に作用する荷重（F_P）

運転時の状態で作用する荷重として，配管等にかかる内圧やポンプのスラスト荷重等の運転時荷重とする。

(2)　荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の設計に用いる竜巻の荷重は，気圧差による荷重(W_P)を考慮した複合荷重W_{T1}並びに設計竜巻の風圧力による荷重(W_W)，気圧差による荷重(W_P)及び飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重W_{T2}を以下のとおり設定する。

$$W_{T1}=W_P$$

$$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$$

竜巻の影響を考慮する施設にはW_{T1}及びW_{T2}の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては，施設の設置状況及び構造を踏まえ適切な組合せを設定する。施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を以下に示す。

a.　竜巻より防護すべき施設を内包する施設（表 4-3(1/5)）

設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重として，風圧力による荷重，気圧差による荷重，飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。

b.　屋外の外部事象防護対象施設（表 4-3(2/5，3/5)）

残留熱除去系海水系海水ポンプ，残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ，配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り）に関しては，風圧力による荷重，気圧差による荷重，防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。残留熱除去系海水系海水ポンプ，残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ，配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中

央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り）には運転時にスラスト荷重や内圧等が作用するため，運転時の状態で作用する荷重も考慮する。

主排気筒，非常用ガス処理系排気筒に関しては，風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。主排気筒，非常用ガス処理系排気筒は屋外施設であり閉じた施設ではないため，気圧差による荷重を考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については，気圧差同様考慮しない。主排気筒筒身及び非常用ガス処理系排気筒に関しては，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，閉塞することはなく，飛来物の衝突により貫通した場合は速やかに補修する運用としていることから，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

中央制御室換気系冷凍機，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）ルーフベントファンに関しては，風圧力による荷重，防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。中央制御室換気系冷凍機，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）ルーフベントファンは，屋外施設であり閉じた施設ではないため，気圧差による荷重を考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については評価対象部位に対し作用しないため考慮しない。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口に関しては，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。運転時の状態で作用する荷重については，吸気口であり内圧は発生しないため考慮しない。また，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口に関しては，設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても閉塞することがなく，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の吸気機能は維持されるため，衝撃荷重については考慮しない。

c. 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設（表 4-3(4/5)）

外気と繋がっている屋内の施設である中央制御室換気系，非常用ディーゼル発電機室換気系，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部）のダクト，隔離弁及びファンは建屋内に設置しているため，風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重は考慮しないが，外気と繋がっているために施設に作用する気圧差による荷重と常時作用する荷重を組み合わせることを基本とする。運転時の状態で作用する荷重に関しては，気圧差による荷重の抗力となるため組み合わせない。また，ファンの自重は内圧荷重に比べ十分小さいことから，自重を考慮しない。

d. 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設(表 4-3 (5/5))

機械的影響を及ぼす可能性がある施設のうち，サービス建屋に関しては，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。運転時の状態で作用する荷重については作用しないため考慮しない。

海水ポンプエリア防護壁及び鋼製防護壁に関しては，風圧力による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。屋外施設であり閉じた施設ではないため，気圧差による荷重を考慮しない。

機能的影響を与える可能性がある施設のうち，ディーゼル発電機排気消音器に関しては，風圧力による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器は，排気機能が健全であれば良く，仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても，その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気されるため，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。また，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器は屋外施設であり閉じた施設ではないため，気圧差による荷重を考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については評価対象部位に対し作用しないため考慮しない。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びに非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）に関しては，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びに非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）には運転時に内圧が作用するため，運転時の状態で作用する荷重も考慮する。非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びに非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）は排気又は排水機能が健全であれば良く，仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても，その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気又は排水されるため，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

上記の施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を踏まえ，各評価対象施設における評価項目ごとの荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3　竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ(1/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重（F_d）			風圧力による荷重(W_W)	気圧差による荷重(W_P)	飛来物による衝撃荷重(W_M)	運転時の状態で作用する荷重（F_P）
			自重	水頭圧	上載荷重				
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋	衝突	○*	－	○*	○*	○	○	－
		構造強度	○	－	○	○	○	○	－
	軽油貯蔵タンクタンク室	衝突	－	－	－	－	－	○	－
		構造強度	－	－	－	－	－	○	－

（○：考慮する荷重を示す。）

注記　＊：「設計飛来物の貫通を生じない最小厚さであること」の確認においては考慮しない。

表 4-3　竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ(2/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重（F_d）			風圧力による荷重(W_W)	気圧差による荷重(W_P)	飛来物による衝撃荷重(W_M)	運転時の状態で作用する荷重（F_P）
			自重	水頭圧	上載荷重				
屋外の外部事象防護対象施設	残留熱除去系海水系ポンプ	衝突	－	－	－	－	－	○	－
		構造強度	○	－	－	○	○	○	○
		機能維持	－	－	－	○	○	○	○
	残留熱除去系海水系ストレーナ	衝突	－	－	－	－	－	○	－
		構造強度	○	－	－	○	○	○	○
	主排気筒	構造強度	○	－	－	○	－	○	－
	中央制御室換気系冷凍機	衝突	－	－	－	－	－	○	－
		構造強度	○	－	－	○	－	○	－
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）ルーフベントファン	衝突	－	－	－	－	－	○	－
		構造強度	○	－	－	○	－	○	－

（○：考慮する荷重を示す。）

表 4-3　竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ(3/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重（F_d）			風圧力による荷重(W_W)	気圧差による荷重(W_P)	飛来物による衝撃荷重(W_M)	運転時の状態で作用する荷重（F_P）
			自重	水頭圧	上載荷重				
屋外の外部事象防護対象施設	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ	衝突	－	－	－	－	－	○	－
		構造強度	○	－	－	○	○	○	○
		機能維持	－	－	－	○	○	○	○
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ	衝突	－	－	－	－	－	○	－
		構造強度	○	－	－	○	○	○	○
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口	構造強度	○	－	－	○	○	－	－
	非常用ガス処理系排気筒	構造強度	○	－	－	○	－	－	－
	配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り）	衝突	－	－	－	－	－	○	－
		構造強度	○	－	－	○	○	○	○

（○：考慮する荷重を示す。）

表 4-3　竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ(4/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重（F_d）			風圧力による荷重(W_W)	気圧差による荷重(W_P)	飛来物による衝撃荷重(W_M)	運転時の状態で作用する荷重（F_P）
			自重	水頭圧	上載荷重				
外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））	構造強度	○	－	－	－	○	－	－
	隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））	構造強度	○	－	－	－	○	－	－
	ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）	構造強度	－	－	－	－	○	－	－

（○：考慮する荷重を示す。）

表 4-3　竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ(5/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重（F_d）			風圧力による荷重(W_W)	気圧差による荷重(W_P)	飛来物による衝撃荷重(W_M)	運転時の状態で作用する荷重（F_P）
			自重	水頭圧	上載荷重				
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	サービス建屋	構造強度	○	－	○	○	○	○	－
	海水ポンプエリア防護壁	衝突	－	－	－	－	－	○	－
		構造強度	○	－	－	○	－	○	－
	鋼製防護壁	構造強度	○	－	－	○	－	○	－
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器	構造強度	○	－	－	○	－	－	－
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管	構造強度	○	－	－	○	○	－	○
	残留熱除去系海水系配管（放出側）	構造強度	○	－	－	○	○	－	○
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）	構造強度	○	－	－	○	○	－	○

（○：考慮する荷重を示す。）

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重の算出式を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-4 に示す。

表 4-4 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m^2	施設の受圧面積
C	－	風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根，壁等）に応じて設定する。）
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	N	自重による荷重
m	kg	質量
q	N/m^2	設計用速度圧
R_m	m	最大接線風速半径
V_D	m/s	設計竜巻の風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
W_M	N	飛来物による衝撃荷重
W_P	N	気圧差による荷重
W_W	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m^3	空気密度
ΔP_{max}	N/m^2	最大気圧低下量

b. 自重による荷重の算出

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

c. 竜巻による荷重の算出

(a) 風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重は，「建築基準法施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」((社)日本建築学会）に準拠して，次式のとおり算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで，

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

(b) 気圧差による荷重(W_P)

気圧差による荷重は，次式のとおり算出する。

$$W_P = \Delta P_{max} \cdot A$$

ここで，

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

(c) 飛来物による衝撃荷重(W_M)

飛来物による衝撃荷重は，飛来物が衝突する竜巻の影響を考慮する施設，評価対象部位及び評価方法に応じて適切に設定する必要があるため，個別計算書にその算出方法を含めて記載する。

評価条件を表 4-5 に示す。

表 4-5 評価条件

最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m^3)	ガスト影響係数 G (－)	設計用速度圧 q (N/m^2)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP (N/m^2)
100	1.22	1.0	6100	85	8900

4.2 許容限界

許容限界は，V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価項目ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた，評価項目ごとの許容限界を表 4-7 に示す。

各施設の許容限界の詳細は，各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し，評価項目ごとに許容限界を定める。

「原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編ＪＥＡＧ４６０１・補－1984」((社) 日本電気協会)，「原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1987」((社) 日本電気協会) 及び「原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版」((社) 日本電気協会) (以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。) を準用できる施設については，ＪＥＡＧ４６０１に基づき「発電用原子力設備規格設計・建設規格ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ１-2005/2007（以下「ＪＳＭＥ」という。）の付録材料図表及びＪＩＳの材料物性値により許容限界を算出している。その他施設や衝撃荷重のみを考慮する施設については，ＪＳＭＥや既往の実験式に基づき許容限界を設定する。

ただし，ＪＳＭＥの適用を受ける機器であって，供用状態に応じた許容値の規定がＪＳＭＥにないものは機能維持の評価方針を考慮し，ＪＥＡＧ４６０１に基づいた許容限界を設定する。

4.2.1 建屋・構造物

(1) 許容限界の設定

a. 衝突評価

(a) 貫通（表 4-7(1/9)）

建屋・構造物の衝突による貫通評価においては，設計飛来物による衝撃荷重に対し，設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設

計とするために，設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材の最小厚さ若しくは部材の吸収エネルギを許容限界として設定する。

(b) ひずみ（表 4-7(1/9)）

建屋・構造物の衝突による貫通評価においては，設計飛来物による衝撃荷重に対し，設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材に貫通に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，鉄筋の許容ひずみを許容限界として設定する。

b. 構造強度評価

(a) 裏面剥離（表 4-7（1/9））

設計飛来物による衝撃荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の脱落による影響を生じない設計とするために，裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，施設の最小部材厚さを許容限界として設定する。また，許容限界を超えた場合は，裏面剥離に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，鉄筋，デッキプレート若しくはライナの許容ひずみを許容限界として設定する。

(b) 転倒及び脱落（表 4-7（1/9））

鉄筋コンクリート造構造物の転倒及び脱落の評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために，構造躯体に終局状態に至るような変形が生じないことを計算により確認する方針としていることを踏まえ,コンクリートの終局せん断ひずみに基づく制限値を許容限界として設定する。制限値は 2.0×10^{-3} とする。

鉄骨造構造物の転倒及び脱落の評価については，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻より防護すべき施設の外殻となる部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために，構造躯体に終局状態に至るような変形が生じないことを計算により確認する方針としていることを踏まえ,「鋼構造設計規準･同解説―許容応力度設計法―」に準じた短期許容応力度を許容限界として設定する。外装板については，外装板メーカの技術資料を基に許容限界を設定する。

また，屋根スラブについては「ＲＣ規準」に基づく終局強度とし，屋根スラブのスタッドについては,「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく許容耐力を許容限界として設定する。

扉の転倒及び脱落の評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために，扉支持部材の破断による転倒及び脱落が生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準･同解説―許容応力度設計法―」に準じた短期許容応力度を許容限界として設定する。

(c) 構造躯体の変形（表 4-7（8/9））

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性のある施設については，設計竜巻による荷重及びその他の荷重に対し，サービス建屋が原子炉建屋及びタービン建屋に接触する変形を生じないことを計算及び解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，原子炉建屋及びタービン建屋との離隔距離を許容限界として設定する。

海水ポンプエリア防護壁については，海水ポンプエリア防護壁の鉄筋コンクリート壁並びに鉄骨架構と近接する外部事象防護対象施設との最小離隔距離を考慮し設定するものであるが，弾性限界内の変形に留めることで，外部事象防護対象施設との離隔を維持する設計とする。

鋼製防護壁については，海水ポンプ室に接触する変形を生じないことを竜巻以外の荷重との比較により確認する評価方針としていることを踏まえ，竜巻の風荷重が，上部工に作用する基準津波の荷重に包絡されていることを確認する。

4.2.2 機器・配管系

(1) 許容限界の設定

a. 衝突評価

(a) 貫入（表 4-7（4/9，5/9））

衝突による貫入評価においては，飛来物による衝撃荷重に対し，外殻を構成する部材が，機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，部材厚さを許容限界として設定する。ただし，耐圧部については部材厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを許容限界として設定する。

b. 構造強度評価

(a) 海水ポンプ（表 4-7（4/9），(5/9)）

海水ポンプの構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，海水ポンプ及び海水ポンプの機能維持に必要な付属品を支持する基礎ボルト，取付ボルト並びにポンプの機能維持に必要な付属品を支持する原動機フレームが，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$の許容応力を許容限界として設定する。

(b) 海水ストレーナ（表 4-7（4/9），(5/9)）

海水ストレーナの構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，海水ストレーナを構成する基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$の許容応力を許容限界として設定する。

(c)　主排気筒（表 4-7（4/9））

主排気筒の構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，流路を確保する機能を維持するために筒身及び鉄塔が，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「容器構造設計指針」等に応じた材料強度を許容限界として設定する。

(d)　冷凍機（表 4-7（4/9））

冷凍機の構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，冷凍機の取付ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

(e)　ファン（表 4-7（5/9），(7/9)）

屋内のファンの構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ファンのケーシングが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

屋外のファンの構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ファンの取付ボルト及び基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

(f)　ディーゼル発電機吸気口（表 4-7（6/9））

ディーゼル発電機吸気口の構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ディーゼル発電機吸気口を構成する胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部が，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓ及び座屈に対する評価式を満足する許容応力を許容限界として設定する。

(g)　配管及び弁（表 4-7（6/9），(8/9），(9/9））

非常用ガス処理系排気筒を含む配管及び弁の構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，配管本体が，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

(h)　ダクト（表 4-7（7/9））

ダクトの構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ダクトを構成するダクト鋼板が，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓ及び座屈に対する評価式を満足する許容応力又はクリップリング座屈に応じた許容応力を許容限界として設定する。

(i)　隔離弁（表 4-7（7/9））

隔離弁の構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，隔離弁が，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，弾性範囲内である部材の降伏応力を許容限界として設定する。

(j)　消音器（表 4-7（8/9））

消音器の構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，消音器を構成する取付ボルト又は基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

b.　動的機能維持評価

(a)　海水ポンプ（表 4-7（4/9），(5/9)）

海水ポンプの動的機能維持評価においては，海水ポンプの軸受部は，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，軸受部における発生荷重が，動的機能を維持可能な許容荷重以下であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，軸受部の接触面圧の許容荷重を許容限界として設定する。

(2)　許容限界設定方法

a.　記号の定義

許容限界式に使用する記号を表 4-6 に示す。

表 4-6　許容限界式に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	補強ピッチ
E	MPa	ヤング率
f_{c}	MPa	脚の許容圧縮応力
f_{br}	MPa	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力
f_{bt}	MPa	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力
f_{t}	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
I	mm^4	断面二次モーメント
k_{p}	－	座屈係数
M	N･mm	ダクトに作用する曲げモーメント
M_{crip}	N･mm	クリップリング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント
M_{p}	N･mm	自重により作用する曲げモーメント
n	－	座屈モードの次数
r	mm	丸ダクトのダクト半径

表 4-6　許容限界式に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
t	mm	ダクト板厚
π	－	円周率
ν	－	ポアソン比
Z_c	－	円筒かくの座屈応力の式における係数
β	－	円筒かくの座屈応力の式における係数
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
σ_{crip}	MPa	クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力
σ_{crip1}	MPa	外圧により生じる周方向応力
σ_{p1}	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
σ_{p2}	MPa	面内荷重（自重）による発生応力
σ_{sc}	MPa	脚の圧縮応力の和
σ_{sr}	MPa	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{st}	MPa	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_w	MPa	短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力と長期荷重（自重）による発生応力の和
σ_x	MPa	x方向応力
σ_y	MPa	y方向応力
τ	MPa	せん断応力
τ_{xy}	MPa	x y面に作用するせん断応力

b.　許容限界式

(a)　支持構造物の許容限界式

イ．　ボルト

引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力f_{ts}は以下のとおり。

$$\mathrm{Min}\{1.5\ f_t,\ (2.1\ f_t-1.6\tau)\}$$

ロ．　溶接部

溶接部については引張応力とせん断応力の組合せが考えられる場合，ＪＳＭＥ SSB-3121.1(6)，SSB-3121.2を準用し，組合せ応力に対しても評価を行う。

垂直応力とせん断応力を生じる構造部分の応力は，以下に示す，垂直応力とせん断応力の組合せ応力の許容応力の評価式を満足しなければならない。

$$1.5 f_t \geq \sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2-\sigma_x\sigma_y+3\tau_{xy}^2}$$

(b)　ディーゼル発電機吸気口の許容限界式

支持脚について，以下の式にて座屈評価を行う。

$$1 \geq \frac{\sigma_{sr}}{f_{br}}+\frac{\sigma_{st}}{f_{bt}}+\frac{\sigma_{sc}}{f_c}$$

(c)　角ダクトの許容限界式

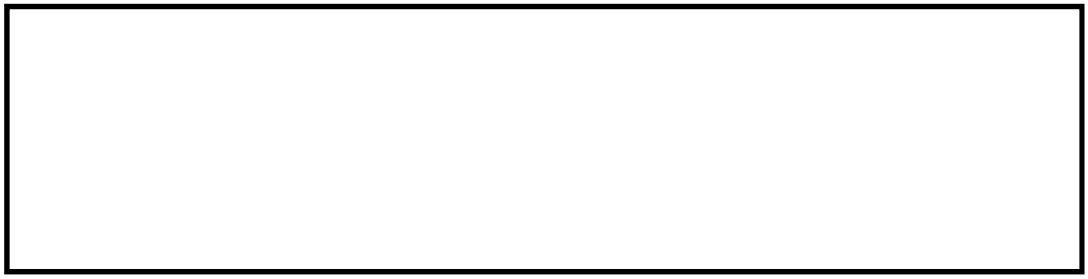
イ．　長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により発生する曲げモーメントMと発生応力σ_{p2}の関係は以下の式で表される。

ここで

$$I=\frac{(a+2t)\cdot(b+2t)^3-a\cdot b^3}{12}$$

短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力σ_{p1}と長期荷重（自重）による発生応力σ_{p2}の和σ_wが許容応力σ_yに達した時に座屈が生じることから，長期荷重により発生する曲げモーメントM_Pが，許容応力σ_yと短期荷重による発生応力σ_{p1}の差（$\sigma_y-\sigma_{p1}$）から求まる長期荷重に対する許容曲げモーメント以下であることを確認する。



(d)　丸ダクトの許容限界式

イ．　外圧に対する許容限界

外圧により生じる周方向応力は，クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力）σ_{crip}を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力σ_{crip}は，円筒殻の座屈応力の式より算出する。

b.　長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により作用する曲げモーメントM_Pと外圧ΔＰ（設計竜巻による気圧低下量）の組合せが，下式を満足させるものとする。

ここで，自重による曲げによってクリップリング座屈が発生する際に作用する曲げモーメントM_{crip}は，下式より算出する。

表 4-7　施設ごとの許容限界(1/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋	W_M	屋根スラブ，外壁（外部事象防護対象施設が設置されている区画の建屋内壁を含む）	衝突	変形	貫通 ひずみ	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
							鉄筋の許容ひずみ以下とする。
				構造強度	変形	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	施設の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。
							ライナ若しくはデッキプレートの許容ひずみ以下とする。
		F_d+W_T（W_W，W_P，W_M）			曲げ，せん断	部材の破断による部材自体の転倒及び脱落	コンクリートのせん断ひずみが制限値（2.0×10^{-3}）以下とする。
							鉄骨造部の部材が，「鋼構造設計規準･同解説―許容応力度設計法―」等に基づく短期許容応力度以下とする。外装板については，外装板メーカの技術資料を基にした許容限界以下とする。
							屋根スラブが「ＲＣ規準」に基づく終局強度以下とする。屋根スラブのスタッドについては，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく許容耐力以下とする。

表 4-7　施設ごとの許容限界(2/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋	W_M	・原子炉建屋大物搬入口扉（内側扉） ・原子炉建屋大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉）	衝突	変形	貫通	設計飛来物の運動エネルギが，機器搬入口扉（内側扉及び原子炉建屋原子炉棟水密扉）による吸収可能エネルギ以下とする。
		F_d+W_P	・原子炉建屋大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉）	構造強度	曲げ，せん断，組合せ	部材の降伏	「鋼構造設計規準･同解説」の短期許容応力度以下とする。
		W_M	・大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉（潜戸）） ・原子炉建屋付属棟１階電気室搬入口水密扉 ・原子炉建屋付属棟1階東側水密扉 ・原子炉建屋付属棟1階南側水密扉 ・原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉 ・原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉 ・原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉 ・原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉 ・原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉 ・空調機械室搬入口扉（潜戸含む。） ・原子炉建屋付属棟４階南東側機器搬入口扉	衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		F_d+W_P		構造強度	曲げ，せん断，組合せ	部材の降伏	「鋼構造設計規準･同解説」の短期許容応力度以下とする。

表 4-7　施設ごとの許容限界(3/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	軽油貯蔵タンクタンク室	W_M	鋼製蓋	衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
			頂版	衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
				構造強度	せん断	裏面剥離	施設の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。

表 4-7　施設ごとの許容限界(4/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設	残留熱除去系海水系ポンプ	F_d+W_T（W_W，W_P，W_M）＋F_P	外殻を構成する部材	衝突	変形	送水機能の喪失	評価式により算定した貫通限界厚さが，外殻を構成する部材の厚さ未満とする。
			取付ボルト基礎ボルト	構造強度	引張，せん断，組合せ	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする。
			原動機フレーム	構造強度	曲げ	部材の降伏	
			軸受部	機能維持	接触	軸と軸受が接触する	軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下とする。
	残留熱除去系海水系ストレーナ	F_d+W_T（W_W，W_P，W_M）＋F_P	外殻を構成する部材	衝突	変形	固形物除去機能の喪失	評価式により算定した貫通限界厚さが，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満とする。
			基礎ボルト	構造強度	引張，せん断，組合せ	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする。
	主排気筒	F_d+W_T（W_W，W_M）	筒身，鉄塔	構造強度	組合せ	部材の降伏	「容器構造設計基準」等に準じて断面算定を行う。
	中央制御室換気系冷凍機	F_d+W_T（W_W，W_M）	外殻を構成する部材	衝突	変形	冷却機能の喪失	評価式により算定した貫通限界厚さが，外殻を構成する部材の厚さ未満とする。
			取付ボルト	構造強度	引張，せん断，組合せ	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする。

表 4-7　施設ごとの許容限界(5/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）ルーフベントファン	F_d+W_T（W_W，W_M）	外殻を構成する部材	衝突	変形	空気の排出機能の喪失	評価式により算定した貫通限界厚さが，外殻を構成する部材の厚さ未満とする。
			取付ボルト基礎ボルト	構造強度	引張，せん断，組合せ	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_A$Ｓの許容応力以下とする。
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ	F_d+W_T（W_W，W_P，W_M）＋F_P	外殻を構成する部材	衝突	変形	送水機能の喪失	評価式により算定した貫通限界厚さが，外殻を構成する部材の厚さ未満とする。
			取付ボルト基礎ボルト	構造強度	引張，せん断，組合せ	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_A$Ｓの許容応力以下とする。
			原動機フレーム	構造強度	曲げ	部材の降伏	
			軸受部	機能維持	接触	軸と軸受が接触する	軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下とする。
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ	F_d+W_T（W_W，W_P，W_M）＋F_P	外殻を構成する部材	衝突	変形	固形物除去機能の喪失	評価式により算定した貫通限界厚さが，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満とする。
			基礎ボルト	構造強度	引張，せん断，組合せ	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$Ⅲ_A$Ｓの許容応力以下とする。

表 4-7　施設ごとの許容限界(6/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口	F_d+W_T（W_W，W_P）	胴板	構造強度	一次一般膜，一次，一次＋二次	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする。
			支持脚	構造強度	組合せ，座屈	部材の降伏	
			支持脚基礎溶接部	構造強度	引張，せん断，組合せ	部材の降伏	
	非常用ガス処理系排気筒	F_d+W_W	配管本体	構造強度	一次（膜＋曲げ）	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする。
	配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ周り）	F_d+W_T（W_W，W_P，W_M）＋F_P	外殻を構成する部材	衝突	変形	流路を確保する機能の喪失	評価式により算定した貫通限界厚さが，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満とする。
			配管本体	構造強度	一次（膜＋曲げ）	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする。

表 4-7　施設ごとの許容限界(7/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気系ダクト，非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部））	F_d+W_P	ダクト鋼板（本体）	構造強度	曲げ，座屈	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態III_AＳ及び座屈に対する評価式を満足する許容応力以下又はクリップリング座屈に応じた許容応力以下とする。
	隔離弁（中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部））	F_d+W_P	弁箱	構造強度	周方向応力	部材の降伏	弾性範囲内である部材の降伏応力を許容限界とする。
			弁体	構造強度	曲げ	部材の降伏	
			弁棒	構造強度	せん断	部材の降伏	
	ファン（中央制御室換気系フィルタ系ファン）	W_P	ケーシング	構造強度	周方向応力	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態III_AＳの許容応力以下とする。

表 4-7　施設ごとの許容限界(8/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	サービス建屋	F_d+W_T（W_W，W_P，W_M）	構造躯体	構造強度	せん断	接触	隣接する原子炉建屋及びタービン建屋との相対変位が，各建屋との離隔距離以下とする。
	海水ポンプエリア防護壁	W_M	構造躯体	衝突	変形	貫通*	外殻となる区画の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		F_d+W_T（W_W，W_M）	構造躯体	構造強度	変形	裏面剥離によるコンクリート片の飛散*	外殻となる区画の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。
					曲げ，圧縮，引張，せん断，組合せ	接触	変形量が弾性限界内に収まるよう，発生する応力が，短期許容応力度以下とする。
	鋼製防護壁	F_d+W_T（W_W，W_M）	鋼製躯体	構造強度	曲げ せん断	接触	竜巻の風荷重が基準津波の荷重に包絡されていること。
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器	F_d+W_W	取付ボルト 基礎ボルト	構造強度	引張，せん断，組合せ	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態III_AＳの許容応力以下とする。

注記　＊：竜巻から防護すべき施設を内包する施設としての機能を有する部位について考慮

表 4-7　施設ごとの許容限界(9/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管	F_d+W_T（W_W，W_P）＋F_P	配管本体	構造強度	一次（膜＋曲げ）	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする。
	残留熱除去系海水系配管（放出側）	F_d+W_T（W_W，W_P）＋F_P	配管本体	構造強度	一次（膜＋曲げ）	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする。
	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）	F_d+W_T（W_W，W_P）＋F_P	配管本体	構造強度	一次（膜＋曲げ）	部材の降伏	ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする。

表 4-8　クラス 1・クラス 2，3・その他の支持構造物の許容応力

許容応力状態	許容応力*1 *2 *3（ボルト以外）				許容応力*2（ボルト等）	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
ⅢAS	1.5 f_t	1.5 f_s	1.5 f_c	1.5 f_b	1.5 f_t	1.5 f_s

注記　＊1：「鋼構造設計規準　ＳＩ単位版」（2002 年日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

＊2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

表 4-9　クラス 2，3 容器の許容応力

許容応力状態	許容応力		
	一次一般膜応力	一次膜応力＋一次曲げ応力	一次＋二次応力
ⅢAS	Min[S_y，0.6S_u]	左欄の 1.5 倍の値	2S_y

表 4-10　クラス 2，3 配管の許容応力

許容応力状態	許容応力	
	一次一般膜応力	一次応力（曲げ応力を含む）
ⅢAS	Min[S_y，0.6S_u] ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 1.2Ｓとしてもよい	S_y ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 1.2Ｓとしてもよい

表 4-11　クラス 2 ポンプの許容応力

許容応力状態	許容応力
	一次一般膜応力
ⅢAS	Min[S_y，0.6S_u]

5. 強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・ＦＥＭ等を用いた解析法

・定式化された評価式を用いた解析法

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して，設計竜巻による荷重は地震荷重と同様に施設に作用する場合は，地震荷重と同様に外力として評価をするため，ＪＥＡＧ４６０１を適用可能とする。ただし，閉じた施設となる屋外配管等については，その施設の大きさ及び形状を考慮した上で，気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として評価する。

風圧力による荷重の影響を考慮する施設については，建築基準法施行令等に基づき風圧力による荷重を考慮し，設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから，評価上高さの1/2又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。

設計竜巻による荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち，強度評価方法として，ポンプ，容器及び建屋等の定式化された評価式を用いた解析法を以下に示す。

ただし，以下に示す強度評価方法が適用できない施設及び評価対象部位については，個別計算書にその強度評価方法を含めて記載する。

5.1　建屋・構造物に関する評価式

5.1.1　鉄筋コンクリート造構造物

(1)　評価条件

a.　貫通限界厚さは，NEI07-13に示されているDegen式を用いて算定する。

Degen式における貫入深さは，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている修正NDRC式を用いて算定する。

b.　裏面剥離限界厚さは，NEI07-13に示されているChang式を用い算定する。

c.　荷重及び応力は力学における標準式を用いて算出する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-1に示す。

表5-1　評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
原子炉建屋	屋根スラブ 外壁 構造躯体	貫通 裏面剥離 転倒及び脱落
	鉄筋	ひずみ
タービン建屋	外部事象防護対象施設が設置されている区画の建屋内壁（オペレーティングフロア床版，気体廃棄物処理系バルブ室） 構造躯体	貫通 裏面剥離 転倒及び脱落
使用済燃料乾式貯蔵建屋	屋根スラブ，外壁	貫通 裏面剥離 転倒及び脱落
軽油貯蔵タンクタンク室	頂版	貫通 裏面剥離
サービス建屋	耐震壁	変形
海水ポンプエリア防護壁	鉄筋コンクリート壁	変形 貫通 裏面剥離

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

Degen式による貫入限界厚さの算定に用いる記号を表5-2に，Chang式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号を表5-3に示す。

表5-2　Degen式による貫入限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
D	kgf/cm^3	飛来物直径密度　　D＝W/d^3	
d	cm	飛来物の（等価）直径	
e	cm	貫通限界厚さ（コンクリート）	
F_c	kgf/cm^2	コンクリートの設計基準強度	
N	－	飛来物の形状係数	
V	m/s	外壁	飛来物の衝突速度（水平）
		屋根	飛来物の衝突速度（鉛直）
W	kgf	飛来物重量	
X	cm	貫入深さ	
α_e	－	低減係数	

表5-3　Chang式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
d	cm	飛来物の（等価）直径	
f_c'	kgf/cm^2	コンクリートの設計基準強度	
S	cm	裏面剥離限界厚さ	
V	m/s	外壁	飛来物の衝突速度（水平）
		屋根	飛来物の衝突速度（鉛直）
V_0	m/s	飛来物基準速度	
W	kgf	飛来物重量	
α_s	－	低減係数	

b.　評価方法

(a)　Degen式による貫通限界厚さの算定

Degen式を以下に示す。

X/d≦1.52の場合

$$e = \alpha_e \{2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2\} \cdot d$$

1.52≦X/d≦13.42の場合

$$e = \alpha_e \{0.69 + 1.29(X/d)\} \cdot d$$

(b)　Chang式による裏面剥離限界厚さの算定

Chang式を以下に示す。

$$S = 1.84 \cdot \alpha_S \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.13} \cdot \frac{\left(\frac{W \cdot V^2}{0.0980}\right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c'^{0.4}}$$

5.1.2　鋼製構造物

(1)　評価条件

a.　飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

b.　荷重及び応力は力学における標準式を用いて算出する。

c.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-4に示す。

表5-4　評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
原子炉建屋	屋根スラブ（スタッド）	転倒及び脱落
	原子炉建屋大物搬入口扉（内側扉）	貫通
	原子炉建屋大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉（潜戸含む。））	貫通 転倒及び脱落
	原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉	
	原子炉建屋付属棟1階東側水密扉	
	原子炉建屋付属棟1階南側水密扉	
	原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉	
	原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉	
	原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉	
	原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉	
	原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉	
	空調機械室搬入口扉	
	空調機械室搬入口扉（潜戸）	
	原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉	
軽油貯蔵タンクタンク室	鋼製蓋	貫通
海水ポンプエリア防護壁	鉄骨架構	変形 貫通
鋼製防護壁	上部工（鋼殻構造部）	変形

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

BRL式による貫入限界厚さの算定に用いる記号を表5-5に，力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号を表5-6に示す。

表5-5 BRL式による貫入限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義
d	cm	飛来物の（等価）直径
k	－	鋼板の材質に関する係数
M	kg	飛来物の質量
T	m	貫通限界厚さ（鋼製部材）
V	m/s	飛来物の衝突速度（鉛直）

表5-6 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号(1/2)

（屋根スラブ及びスタッド）

記号	単位	定義
L	m	屋根スラブの支持スパン
M	kN･m	屋根スラブに生じる単位幅の曲げモーメント
p	mm	スタッドの間隔
Q	kN/m	屋根スラブに生じる単位幅のせん断力
T	kN	スタッドに生じる引張力
ω_d	kN/m	常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重
ω_T	kN/m	設計竜巻による単位幅あたりの荷重 (=max{ω_{T1}, ω_{T2}})
ω_{T1}	kN/m	複合荷重W_{T1}による単位幅あたりの荷重
ω_{T2}	kN/m	複合荷重W_{T2}による単位幅あたりの荷重（設計飛来物による衝撃荷重W_Mは考慮しない）

表5-6 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号(2/2)

（扉）

記号	単位	定義
L_k	m	軸支持間距離（カンヌキ）
L_P	m	軸支持間距離（カンヌキ受けピン）
M	kN	曲げモーメント
n	本	ボルト本数
Q	kN	せん断力
R	kN	気圧差による荷重による反力
T	kN	引張力

b.　評価方法

(a)　BRL式による貫通限界厚さの算定

BRL式を以下に示す。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot V^{2}}{1.439\cdot 10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

ここで等価直径dは下式のとおり。

$$d=\sqrt{\frac{4\cdot A}{\pi}}$$

(b)　力学における標準式による荷重及び応力の算定

イ．　単位幅の屋根スラブにおける発生モーメント

$$M=\frac{\left(\omega_{T}-\omega_{d}\right)\cdot L^{2}}{8}$$

ロ．　単位幅の屋根スラブにおける発生せん断力

$$Q=\frac{\left(\omega_{T}-\omega_{d}\right)\cdot L}{2}$$

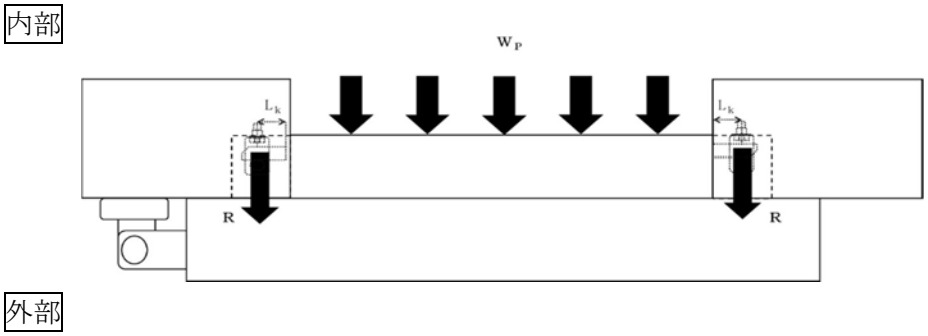
ハ．　スタッド1本あたりの発生引張力

$$T=Q\cdot\frac{p}{1000}$$

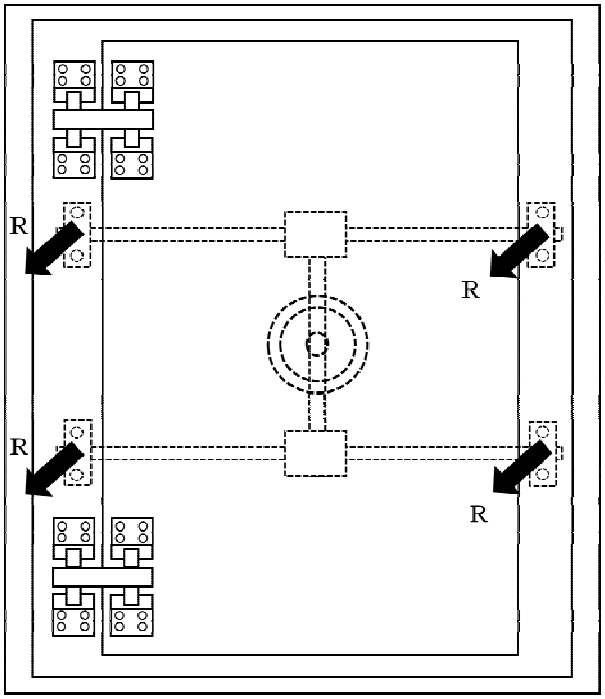
ニ．　片開き扉の扉支持部材に生じる荷重

片開き扉の扉支持部材のうち，ヒンジ部はヒンジアーム，ヒンジピン，ヒンジボルトで構成され，カンヌキ部はカンヌキ，カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルトで構成されており，次式により算定する竜巻の気圧差による荷重による反力から，各部材に発生する荷重を算定する。

片開き扉のカンヌキ部に生じる荷重の例を図5-1に示す。



＜扉平面図＞



＜扉立面図＞

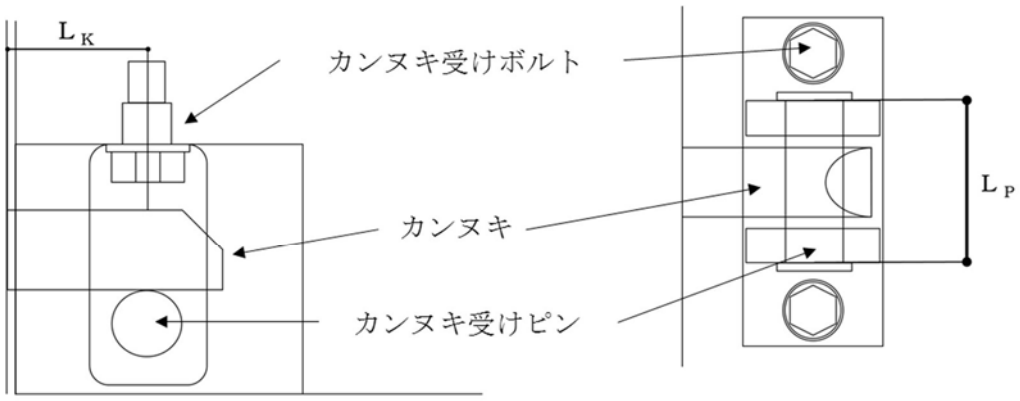
図5-1　カンヌキ部に生じる荷重の例

（イ）　カンヌキ

カンヌキ部の詳細図を図5-2に示す。カンヌキに生じる曲げモーメントM_k及びせん断力Q_kは次式により算定する。

$M_k = R \cdot L_k$

$Q_k = R$



＜平面図＞　　＜正面図＞

図5-2　カンヌキ部詳細図

（ロ）　カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメントM_pとせん断力Q_pは次式により算定する。

$$M_p = \frac{R \cdot L_P}{4}$$

$$Q_p = R$$

（ハ）　カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張力Tは以下のとおりである。

$$T = R$$

ホ．　閉塞扉のパネル取付ボルト及びアンカーボルトに生じる荷重

閉塞扉は扉板，パネル取付ボルト，アンカーボルトで構成されており，次式により算定する竜巻の気圧差による荷重による反力から，各部材に発生する荷重を算定する。

閉塞扉のパネル取付ボルト及びアンカーボルトに生じる荷重の例を図5-3に示す。

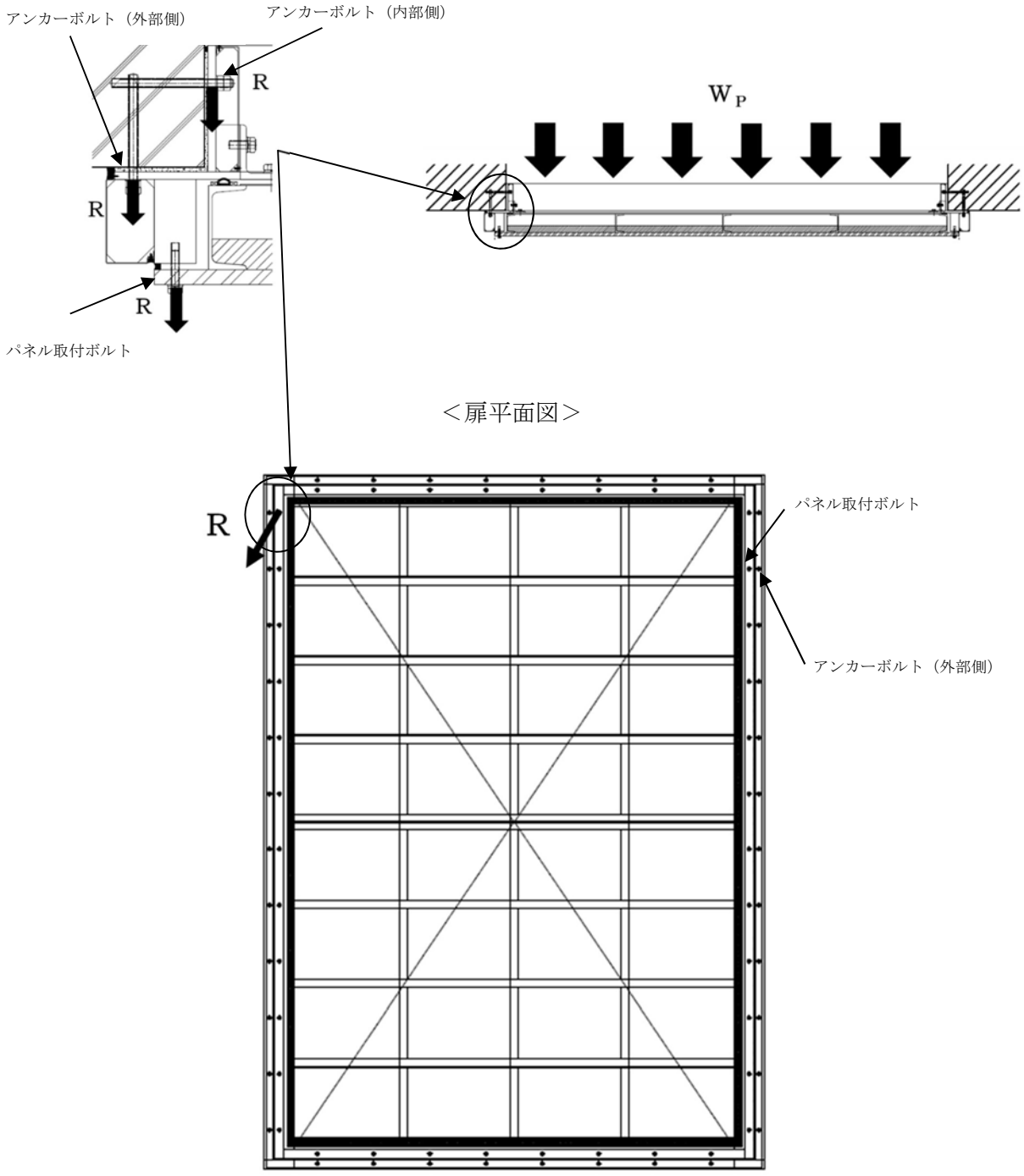


図5-3　閉塞扉のパネル取付ボルト及びアンカーボルトに生じる荷重

（イ）　パネル取付ボルト

パネル取付ボルトに生じる引張力Tは次式により算定する。nはパネル取付ボルトの本数である。

$$T = \frac{R}{n}$$

（ロ） アンカーボルト（外部側）

アンカーボルト（外部側）に生じる引張力Ｔは次式により算定する。ｎはアンカーボルト（外部側）の本数である。

$$T = \frac{R}{n}$$

（ハ） アンカーボルト（内部側）

アンカーボルト（内部側）に生じるせん断力Ｑは次式により算定する。ｎはアンカーボルト（内部側）の本数である。

$$Q = \frac{R}{n}$$

5.2 機器・配管系に関する評価式

5.2.1 衝突評価が必要な機器

(1) 評価条件

衝突評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 貫通計算においては，評価対象部位に飛来物が衝突した際に跳ね返らず，貫通するものとして評価する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-7 に示す。

表5-7 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
飛来物が衝突する可能性がある部位のうち，最小板厚部等，貫通によって当該施設が機能喪失する可能性がある箇所	衝突による貫通力

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

衝突評価に用いる記号を表5-8に示す。

表5-8 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	－	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

b. 評価方法

(a) 貫通限界厚さの算出

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot v^{2}}{1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

5.2.2 ポンプ

(1) 海水ポンプ

a. 評価条件

海水ポンプの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a) 応力計算において，1質点系モデルとし，ＪＥＡＧ４６０１の立形ポンプの計算方法を参考に評価を行う。ポンプ部は全高の1/2の位置に，モータ部は風圧力による荷重の作用中心と同等，あるいはより高い重心作用位置に複合荷重が作用することとする。また，設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。

海水ポンプの強度評価対象部位を図5-4に示す。また，ポンプ部及びモータ部の応力計算モデル図を図5-5に示す。

(b) たわみ量計算において，ポンプ据付面から原動機支え台上端までと，原動機支え台上端から原動機までの片持ち梁と考え，違う断面性能の一軸中空形モデルで，荷重が全高の半分の位置に作用することとする。

たわみ量計算モデル図を図5-6に示す。

(c) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-9に示す。

表5-9 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
基礎ボルト，取付ボルト	・引張 ・せん断 ・組合せ
原動機フレーム	・曲げ
軸受部	・曲げ

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表5-10，表5-11に示す。

表5-10　海水ポンプの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_b	mm^2	ボルトの断面積
D	mm	原動機フレーム外径
d	mm	原動機フレーム内径
F_b	N	ボルトに作用する引張力
F_H	N	ボルトに作用するせん断力
F_i	N	各ボルトに作用する引張力
F_n	N	ボルトに作用する最大引張力
H	N	自重による荷重
h	mm	基準面からの重心距離
h_u	mm	基準面から上端カバー上端までの高さ
h_w	mm	原動機フレーム溶接部高さ
L	mm	重心と支点間の距離
L_g	mm	ポンプ部各評価部位の評価高さ
L_H	mm	重心と支点間の距離
L_i	mm	各ボルト間の距離
L_1～L_8	mm	支点と評価ボルト間の距離
L_n	mm	各ボルト間距離のうち最長距離
M	N･mm	設計竜巻により作用するモーメント
N	－	ボルトの本数
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5・W_P+W_M$）
π	－	円周率
σ	MPa	原動機フレームの曲げ応力
σ_{bt}	MPa	ボルトの引張応力
τ	MPa	せん断応力

表5-11　海水ポンプの動的機能維持評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	部材間の長さ
E	MPa	縦弾性係数
h’	mm	基準点から作用点までの距離
I	mm^4	断面二次モーメント
i	rad	傾斜
M	N･mm	設計竜巻により作用するモーメント
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5・W_P+W_M$）
W’	N	たわみ量及び発生荷重計算において設計竜巻による風圧を受ける面それぞれのW_{T2}の合計の複合荷重
W”	N	発生荷重
x’	mm	評価対象部から支点までの距離
y	mm	たわみ量
δ	mm	フレーム変位量

(b)　計算モデル

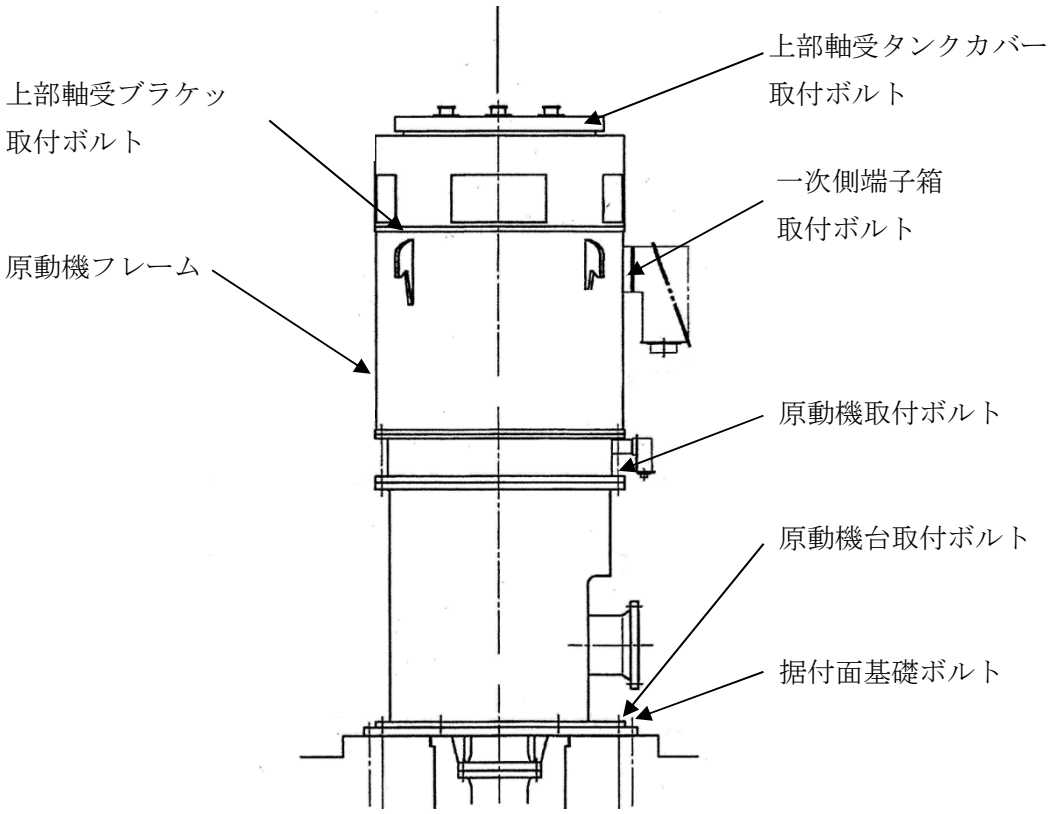


図 5-4(1/2)　残留熱除去系海水系ポンプの強度評価対象部位

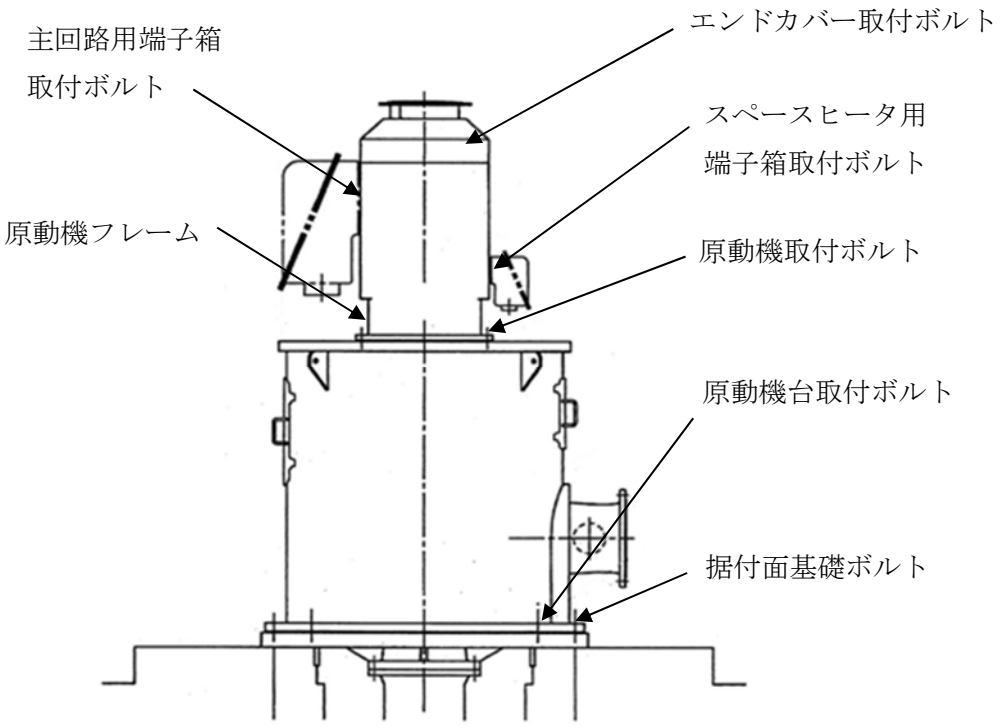


図 5-4(2/2)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの強度評価対象部位

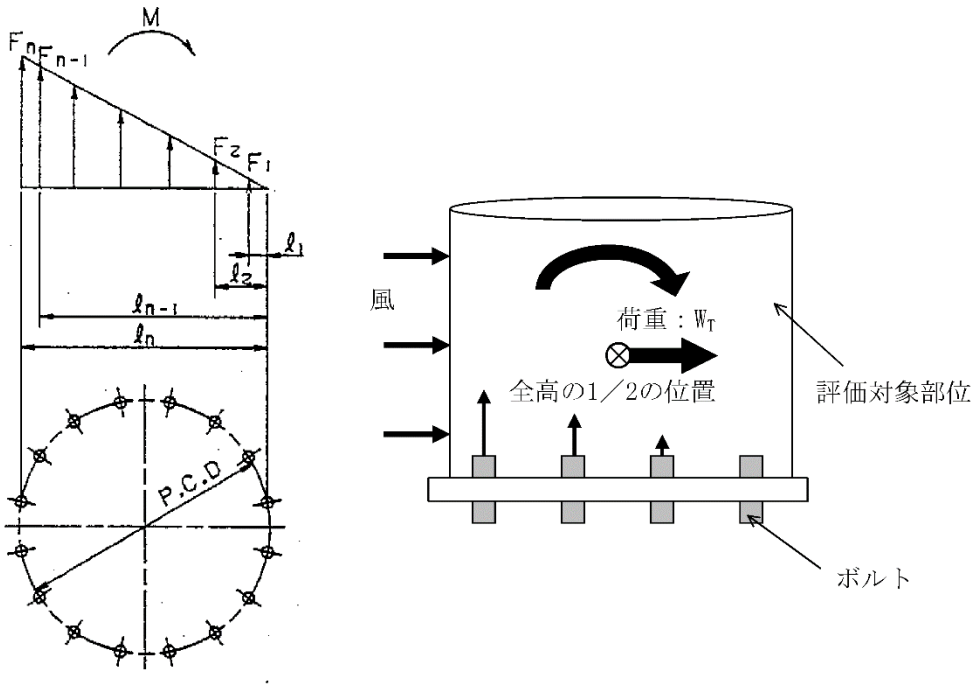


図 5-5(1/2)　応力の計算モデル図（ポンプ部）

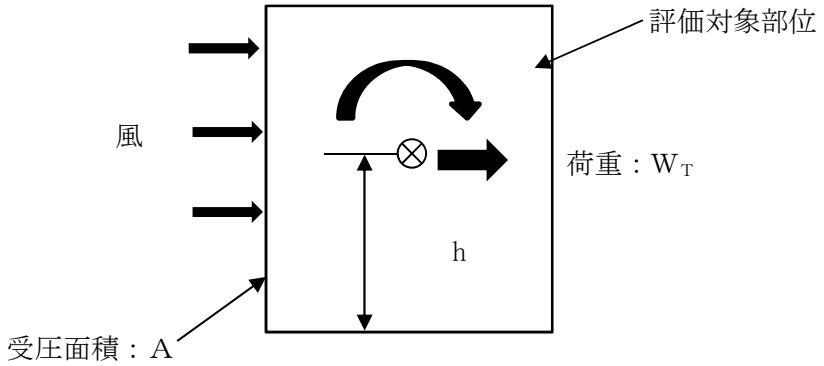


図 5-5(2/2)　応力の計算モデル図（原動機部）

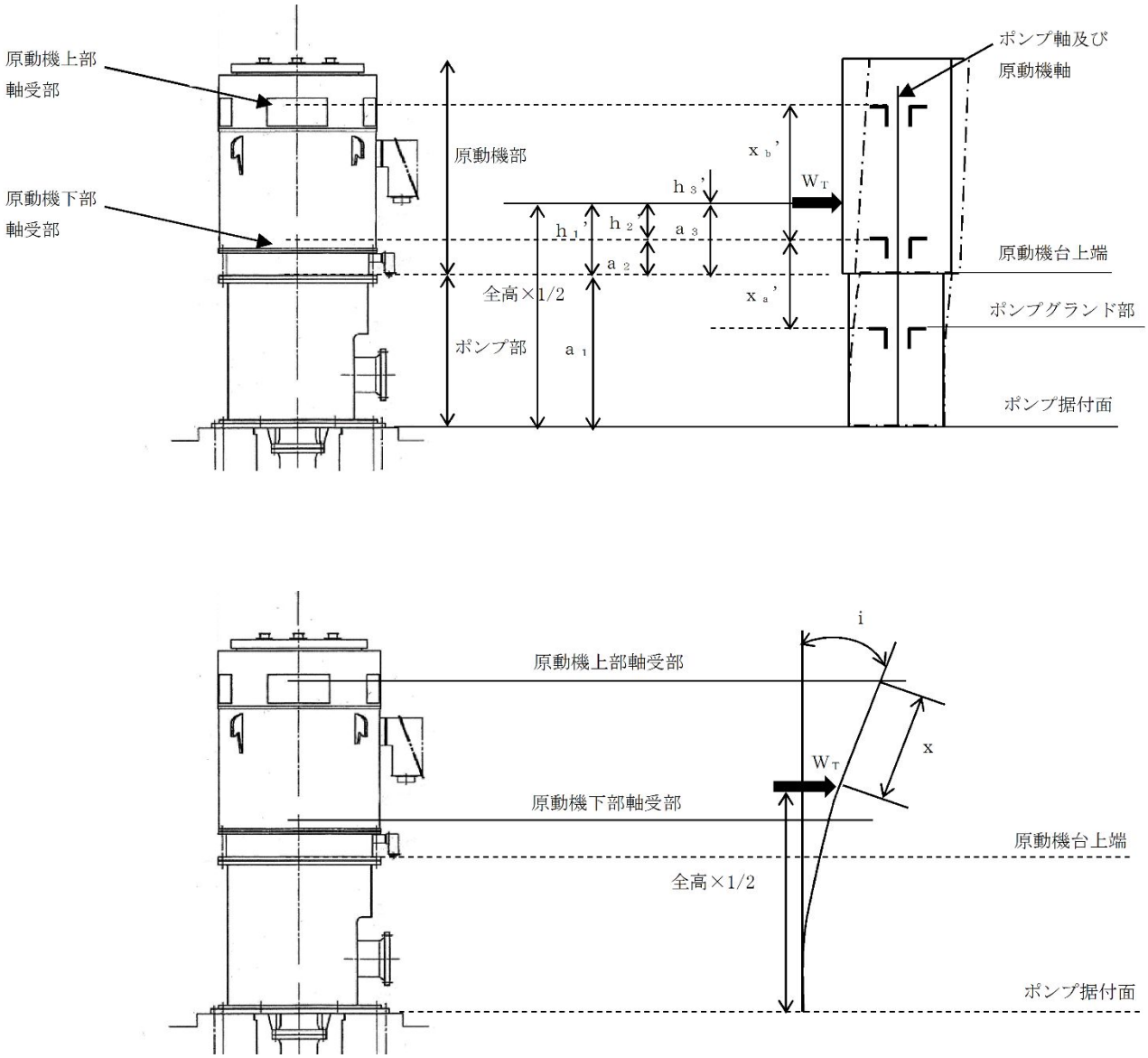


図 5-6(1/2)　残留熱除去系海水系ポンプのたわみ量計算モデル図

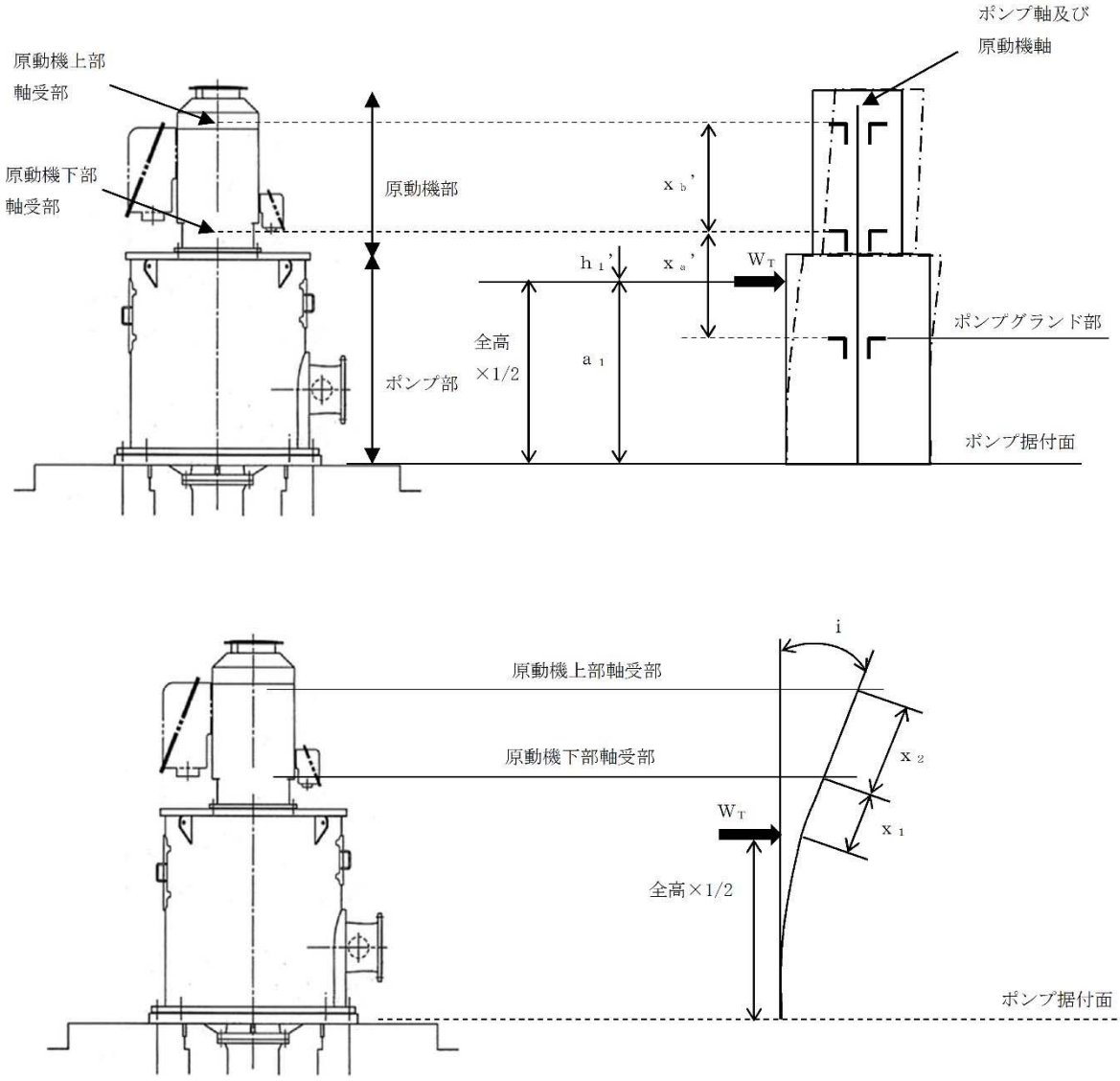


図 5-6(2/2)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプのたわみ量計算モデル図

(c)　評価方法

イ．　応力の算出

機械工学便覧を参考に算出する。

（イ）　ポンプ部

・風による転倒モーメントM

$M = W_T$・全高／2

・引張応力σ_{bt}

$$M = 2\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot L_i \quad \cdots \quad (5.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i}=\text{一定}\quad\cdots\quad(5.2)$$

(5.1)　(5.2) 式より，

$$F_n=\frac{M}{2\sum_{i=1}^{n}L_i^{\,2}}L_n$$

よって，

$$\sigma_{bt}=\frac{F_n}{A_b}$$

・せん断応力 τ

$$\tau=\frac{W_T}{A_b\cdot N}$$

（ロ）　原動機部

【原動機フレーム】

原動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

・曲げ応力

（ⅰ）　風による転倒モーメントM

$$M=W_T\cdot h$$

（ⅱ）　曲げ応力 σ

$$\sigma=\frac{M}{Z}$$

ここで，

$$Z=\frac{\pi\left(D^4-d^4\right)}{32\cdot D}$$

【一次側端子箱ボルト部（残留熱除去系海水系ポンプ），主回路用端子箱ボルト部（非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ），スペースヒータ用端子箱ボルト部（非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ）】

・引張応力

（ⅰ）　風による転倒モーメントM

$$M=W_T\cdot h+H\cdot L_H$$

（ⅱ）　引張応力 σ_{bt}

$$F_b=\frac{M}{L_1\cdot N}$$

$$\sigma_{bt}=\frac{F_b}{A_b}$$

・せん断応力

$$\tau = \frac{F_H}{A_b \cdot N}$$

ここで,

$$F_H = \sqrt{W_T{}^2 + H^2}$$

【上部軸受ブラケット取付ボルト部（残留熱除去系海水系ポンプ），上部軸受タンクカバー取付ボルト部（残留熱除去系海水系ポンプ），エンドカバー取付ボルト部（非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ）】

・引張応力

竜巻によって生じる転倒荷重が上端部（評価上厳しい条件）に作用した際の，取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

（ⅰ） 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h_u$$

（ⅱ） 引張応力σ_{bt}

$$M = 2\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot L_i \quad \cdots \quad (5.3)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \quad \cdots \quad (5.4)$$

（5.3）（5.4）式より,

$$F_n = \frac{M}{2\sum_{i=1}^{n} L_i{}^2} L_n$$

よって,

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b}$$

（ⅲ） せん断応力τ

$$\tau = \frac{W_T}{A_b \cdot N}$$

ロ． たわみ量及び発生荷重の計算

（イ） たわみ量の算出

たわみ量の算出において，竜巻による風圧力を受ける面のそれぞれのW_{T2}の合計を複合荷重W’とする。

$$W' = \Sigma W_{T2}$$

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量ｙと傾斜ｉを算出する。なお，荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

ミオソテスの方法

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$i = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$

（ロ） 発生荷重の算出

軸受部において，フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し，発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重W”は次式より計算する。

δ＝評価対象部位の変位量 － 支点の変位量

また，発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x'^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'^3}$$

5.2.3　容器

(1)　海水ストレーナ

a.　評価条件

海水ストレーナの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a)　設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及び有効運転質量を考慮した自重を加えた荷重に対する，支持脚の構造健全性を1質点系モデルとし，計算モデルが類似しているＪＥＡＧ４６０１の横型ポンプの計算式を参考とし計算を行う。なお，1質点系モデルの強度計算において，評価上高さの1/2又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。

海水ストレーナのモデル図を図5-7に示す。

(b)　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b.　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-12に示す。

表5-12　評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
基礎ボルト	・引張 ・せん断 ・組合せ

c.　強度評価方法

(a)　記号の定義

海水ストレーナの強度計算に用いる記号を表5-13に示す。

表5-13　強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_b	mm^2	基礎ボルトの軸断面積
d	mm	基礎ボルト呼び径
F_b	N	基礎ボルトに対する引張力
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	ストレーナ重心高さ
L_1	mm	基礎ボルト間の水平距離
L_H	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	容器の有効運転質量*
N	－	基礎ボルトの本数
n_f	－	引張力を受ける基礎ボルトの本数
Q_b	N	基礎ボルトに対するせん断力
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$）
π	－	円周率
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

注記　＊：有効運転質量は，容器の満水時における質量とする。

(b)　計算モデル

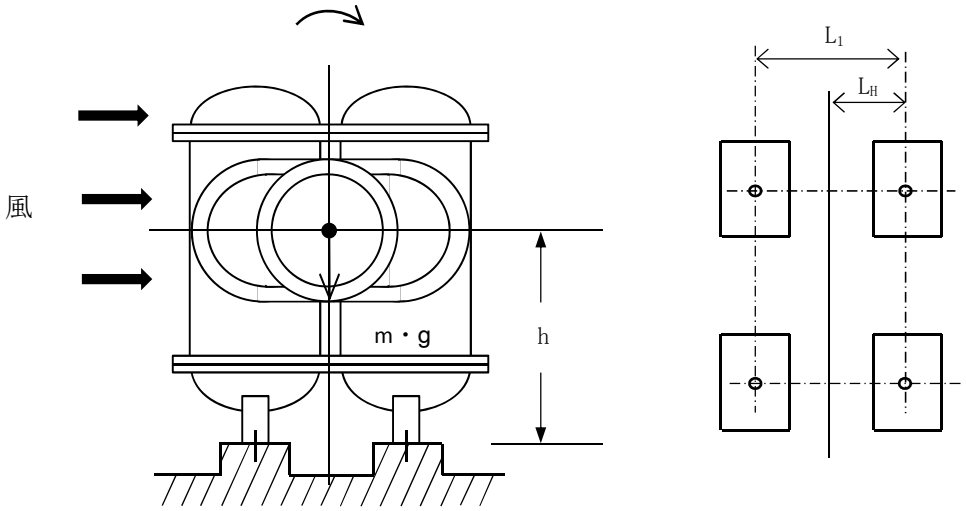


図5-7　海水ストレーナのモデル図

(c)　評価方法

イ．　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 5-7 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

（イ）　引張力

$$F_b = \frac{W_{T2} \cdot h - m \cdot g \cdot L_H}{n_f \cdot L_1}$$

（ロ）　引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

ロ．　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

（イ）　せん断力

$$Q_b = W_{T2}$$

（ロ）　せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

(2) ディーゼル発電機吸気口

a. 評価条件

ディーゼル発電機吸気口の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a) 設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重，自重を加えた荷重に対する，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部の構造健全性を1質点系モデルとし，ＪＥＡＧ４６０１の4脚たて置円筒形容器又は機械工学便覧の計算方法を準用し評価を行う。なお，1質点系モデルの強度計算において，評価上高さの1/2又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。

ディーゼル発電機吸気口のモデル図を図5-8に示す。

(b) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-14に示す。

表5-14 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
胴板	・一次一般膜 ・一次 ・一次＋二次
支持脚	・組合せ ・座屈
支持脚基礎溶接部	・引張 ・せん断 ・組合せ

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

ディーゼル発電機吸気口の強度計算に用いる記号を表5-15に示す。

表5-15　強度評価に用いる記号（1/4）

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_s	mm^2	脚の断面積
A_{sr}	mm^2	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積
A_{st}	mm^2	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積
A_w	mm^2	支持脚基礎溶接部の有効面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C_1	mm	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の周方向)
C_2	mm	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の軸方向)
C_c，C_L	－	応力の補正係数
D_i	mm	胴の内径
E	MPa	胴の縦弾性係数
E_s	MPa	脚の縦弾性係数
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_0	N	振動モデル系における水平力
f_c	MPa	脚の許容圧縮応力
f_{br}	MPa	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力
f_{bt}	MPa	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力
f_t	MPa	脚の許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
G_s	MPa	脚のせん断弾性係数
g	m/s^2	重力加速度
H	m	ディーゼル発電機吸気口高さ
I	mm^4	胴の断面 2 次モーメント
I_{sr}	mm^4	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント
I_{st}	mm^4	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント
J_s	mm^4	脚のねじりモーメント係数
K_c	－	脚の胴つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数
K_L	－	胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数
K_r	－	胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数
k_L	－	アタッチメントパラメータ軸方向の補正係数
k_c	－	アタッチメントパラメータ周方向の補正係数

表5-15　強度評価に用いる記号（2/4）

記号	単位	定義
L	mm	脚の長さ
L_1	mm	支持脚間水平距離
L_c	mm	脚の中立軸間の距離
L_g	mm	基礎から容器上部重心までの距離
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
M_1	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント
M_3	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部のねじりモーメント
M_c	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向モーメント（圧縮側）
M_L	N・mm	運転時質量による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント（引張側）
M_x	N・mm	胴に生じる軸方向の曲げモーメント
M_ϕ	N・mm	胴に生じる周方向の曲げモーメント
m_0	kg	運転時質量
N_x	N/mm	胴に生じる軸方向の膜力
N_ϕ	N/mm	胴に生じる周方向の膜力
P	N	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
P_1	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
Q	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向荷重
Q_1	N	支持脚に作用するせん断荷重
q	N/m^2	設計用速度圧
R	N	運転時質量による脚の軸力
R_1	N	風荷重(Z方向)により脚に作用する軸力
r_m	mm	胴の平均半径
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張強さ
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
T	N	支持脚に作用する引張荷重
t	mm	胴の板厚
u	mm	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離
W_1	N	風荷重
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T1}=W_P$）
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$）
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
Z_{sr}	mm^3	脚の半径方向軸に対する断面係数
Z_{st}	mm^3	脚の周方向軸に対する断面係数
β，β_1，β_2 β_c，β_L	－	アタッチメントパラメータ
γ	－	シェルパラメータ

表5-15　強度評価に用いる記号（3/4）

記号	単位	定義
ΔP	N/m^2	気圧差
Δ_r	mm	運転時質量による胴の半径方向局部変位量
Δ_{r1}	mm	水平力F_0による胴の半径方向局部変位量
Δ_{x1}	mm	水平力F_0による第1脚上端の水平方向変位量
Δ_{x3}	mm	水平力F_0による第2脚上端の水平方向変位量
Δ_{y1}	mm	水平力F_0による第1脚の鉛直方向変位量
θ	rad	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角
θ_0	rad	水平力F_0による胴の中心軸の傾き角
θ_1	rad	水平力F_0による第1脚の傾き角（圧縮側）
θ_2	rad	水平力F_0による胴の第1脚つけ根部における局部傾き角
θ_3	rad	水平力F_0による第2脚の傾き角
π	－	円周率
ρ	－	比重
σ	MPa	支持脚基礎溶接部の組合せ応力
σ_0	MPa	胴の一次一般膜応力の最大値
$\sigma_{0\phi}$	MPa	胴の周方向一次一般膜応力
σ_{0x}	MPa	胴の軸方向一次一般膜応力
σ_1	MPa	胴の一次応力の最大値
σ_2	MPa	胴の一次＋二次応力の最大値
σ_{11} ～ σ_{14}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力
σ_{15} ， σ_{16}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力
σ_{21} ～ σ_{24}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力
σ_{25} ， σ_{26}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力
σ_s	MPa	脚の組合せ応力の最大値
σ_t	MPa	支持脚基礎溶接部に生じる引張応力
σ_{s1}，σ_{s2}	MPa	運転時質量による脚の圧縮応力,曲げ応力
σ_{s5} ～ σ_{s7}	MPa	風荷重（Z方向）による脚の圧縮応力,曲げ応力
σ_{s8} ～ σ_{s10}	MPa	風荷重（X方向）による脚の圧縮応力,曲げ応力
σ_{sc}	MPa	脚の圧縮応力の和
σ_{sr}	MPa	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{st}	MPa	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{sx}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の脚の組合せ応力
σ_{sz1}，σ_{sz2}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の脚の組合せ応力
σ_{x1}	MPa	静水頭又は内圧による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi1}$	MPa	静水頭又は内圧による胴の周方向応力
σ_{x2}	MPa	運転時質量による胴の軸方向応力
σ_{x3}	MPa	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi3}$	MPa	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x4}	MPa	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi4}$	MPa	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力
σ_{x5}	MPa	応力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力

表5-15　強度評価に用いる記号（4/4）

記号	単位	定義
σ_{x61}，σ_{x62}	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 61}$，$\sigma_{\phi 62}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力
σ_{x71}，σ_{x72}	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 71}$，$\sigma_{\phi 72}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x81}，σ_{x82}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 81}$，$\sigma_{\phi 82}$	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x91}，σ_{x92}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 91}$，$\sigma_{\phi 92}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力
σ_{x101}，σ_{x102}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 101}$，$\sigma_{\phi 102}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x111}，σ_{x112}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 111}$，$\sigma_{\phi 112}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{xx1}，σ_{xx2}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和
σ_{xx3}，σ_{xx4}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の軸方向一次＋二次応力の和
σ_{xz1} ～ σ_{xz4}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和
σ_{xz5} ～ σ_{xz8}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の軸方向一次＋二次応力の和
$\sigma_{\phi x1}$，$\sigma_{\phi x2}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の周方向一次応力の和
$\sigma_{\phi x3}$，$\sigma_{\phi x4}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の周方向一次＋二次応力の和
$\sigma_{\phi z1}$ ～ $\sigma_{\phi z4}$	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次応力の和
$\sigma_{\phi z5}$ ～ $\sigma_{\phi z8}$	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次＋二次応力の和
τ	MPa	支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力
τ_3	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力
τ_6	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力
τ_{c1}	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力
τ_{c4}	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力
τ_{L1}	MPa	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{L2}	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{L5}	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力

(b)　計算モデル

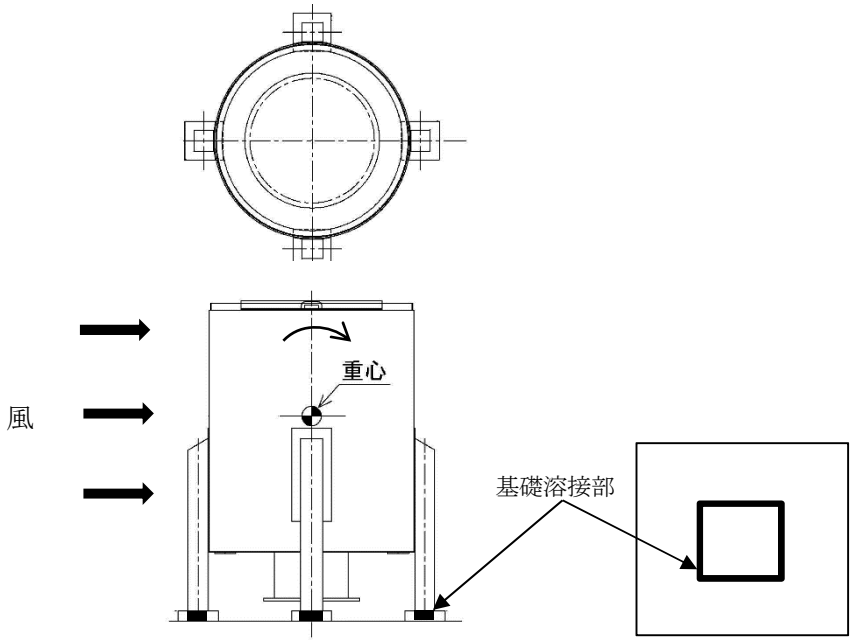


図 5-8　ディーゼル発電機吸気口の評価モデル図

(c)　評価方法

イ．　荷重の設定

水平力の釣合より

$$2P_1 + 2Q = F_0$$

転倒モーメントの釣合より

$$2M_1 - 2M_3 + 2R_1 \cdot r_m = F_0(L_g - L)$$

ただし，

$$r_m = (D_i + t)/2$$

第 1 脚の水平方向変位量 Δ_{x1}，傾き角 θ_1，鉛直方向変位量 Δ_{y1}は次による。

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

ここで，

$$u = \frac{L_c}{2} - r_m$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s}$$

胴の半径方向局部変位量Δ_{r1}と局部傾き角 θ_2は次による。

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E}$$

$$\theta_2 = \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

ここで，β_Lは次による。

$$\beta_L = k_L \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

第2脚の傾き角 θ_0と水平方向変位量 Δ_{x3}は，次による。

$$\theta_0 = -\frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{st}} - \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

第1脚と胴の傾き角の釣合より

$$\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0$$

第2脚のねじり角と局部傾き角は等しいことから

$$\theta_3 = \frac{(Q \cdot u - M_c)L}{G_s \cdot J_s} = \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E}$$

ここで，β_cは次による。

$$\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

脚と胴の水平方向変位の釣合より

$$\Delta_{x1} + \Delta_{r1} = \Delta_{x3} + u \cdot \theta_3$$

さらに鉛直方向変位の釣合より

$$\Delta_{y1} - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0$$

式を代入して，

$$\frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s} - \frac{u(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{u \cdot P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{r_m \cdot M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{r_m \cdot Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} = 0$$

式を代入して

$$\frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_1^2 \cdot E} + \frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} = 0$$

式を変形して

$$\frac{u \cdot Q \cdot L}{G_s \cdot J_s} - \frac{M_c \cdot L}{G_s \cdot J_s} - \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} = 0$$

式を代入して

$$\frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} - \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{st}} + \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} - \frac{u \cdot K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} = 0$$

したがって，6 変数P_1，Q，R_1，M_1，M_3，M_cに対して上記式を連立させることにより方程式ができる。

ロ．　胴の応力計算

（イ）　静水頭又は内圧による応力

ディーゼル発電機吸気口に静水頭，内圧は発生しないため，$\sigma_{\phi 1}$及びσ_{x1}は 0 となる。

（ロ）　運転時質量による応力

$$\sigma_{x2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi (D_i + t)\ t}$$

（ハ）　運転時質量による胴の脚つけ根部の応力

脚下端が固定の場合，軸力Rは次による。

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4}$$

脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形を図 5-9 に示す。

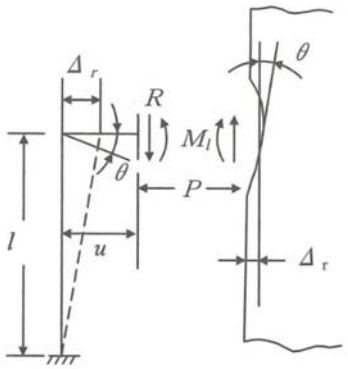


図 5-9　脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形

脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいことから

$$\Delta_r = \frac{-P \cdot L^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(R \cdot u - M_L)L^2}{2E_s \cdot I_{st}} = \frac{K_r \cdot P}{r_m \cdot E}$$

また，脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta = \frac{(R \cdot u - M_L)L}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{P \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} = \frac{K_L \cdot M_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

したがって

$$M_L = \frac{\left(\frac{L^3}{12E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}\right)\frac{m_0 \cdot g \cdot u \cdot L}{4E_s \cdot I_{st}}}{\left(\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E}\right)\left(\frac{L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}\right) - \left(\frac{L^2}{2E_s \cdot I_{st}}\right)^2}$$

$$P = \frac{\frac{\frac{n g \quad g}{4} u - M_L}{2E_s \cdot I_{st}} L^2}{\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}}$$

鉛直方向モーメントM_Lにより生じる胴の局部応力は，図 5-10 に示す 3 次元ＦＥＭモデルより求める(以下*を付記する)ことにより算定する。

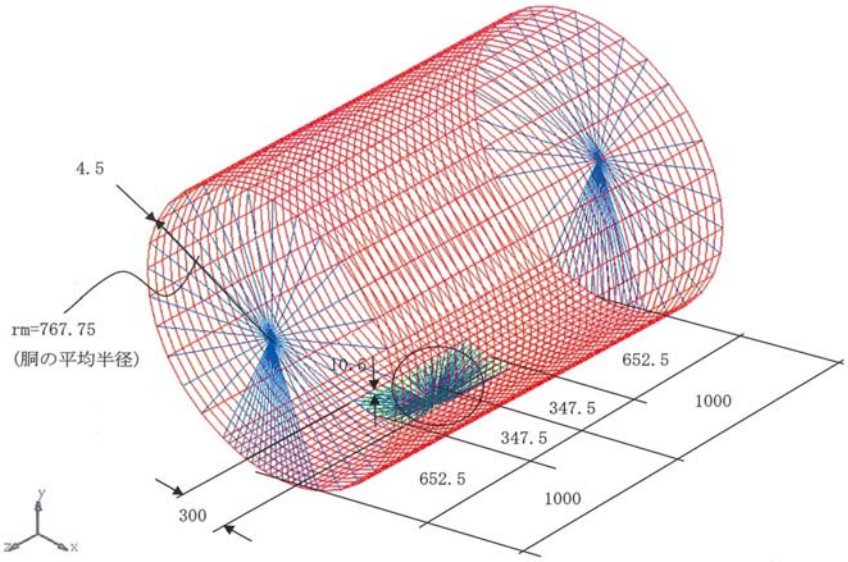


図 5-10　3 次元ＦＥＭモデル図

$$\sigma_{\phi 3}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_L/(r_m{}^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_L}{r_m{}^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L{}^{*}$$

$$\sigma_{x3}=\left[\frac{N_x}{M_L/(r_m{}^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_L}{r_m{}^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L{}^{*}$$

半径方向荷重Ｐにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 4}=\left[\frac{N_{\phi}}{P/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P}{r_m\cdot t}\right)$$

$$\sigma_{x4}=\left[\frac{N_x}{P/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P}{r_m\cdot t}\right)$$

反力Ｒによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L1}=\frac{R}{4C_2\cdot t}$$

（ニ）　風荷重による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x5}=\frac{W_1(L_g-L)(D_i+2t)}{2I}$$

（ホ）　Ｚ方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

【一次応力】

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 61}=\left[\frac{N_{\phi}}{P_1/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P_1}{r_m\cdot t}\right)$$

$$\sigma_{x61}=\left[\frac{N_x}{P_1/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P_1}{r_m\cdot t}\right)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 71}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_1/(r_m^{2}\cdot \beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_1}{r_m^{2}\cdot t\cdot \beta_L}\right)C_L^{*}$$

$$\sigma_{x71}=\left[\frac{N_x}{M_1/(r_m^{2}\cdot \beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_1}{r_m^{2}\cdot t\cdot \beta_L}\right)C_L^{*}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 81}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_c/(r_m^{2}\cdot \beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_c}{r_m^{2}\cdot t\cdot \beta_c}\right)C_c^{*}$$

$$\sigma_{x81}=\left[\frac{N_x}{M_c/(r_m^{2}\cdot \beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_c}{r_m^{2}\cdot t\cdot \beta_c}\right)C_c^{*}$$

ここで，β_cは次による。

$$\beta_c=\sqrt[3]{\beta_1^{2}\cdot \beta_2}$$

周方向せん断力Qによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{c1}=\frac{Q}{4C_1\cdot t}$$

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L2}=\frac{R_1}{4C_2\cdot t}$$

ねじりモーメントM_3により生じる胴の局部せん断応力は，次による。

$$\tau_3=\frac{M_3}{2\pi\cdot C_1^{2}\cdot t}$$

【二次応力】

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 62}=\left[\frac{M_{\phi}}{P_1}\right]^{*}\left(\frac{6P_1}{t^2}\right)$$

$$\sigma_{x62}=\left[\frac{M_x}{P_1}\right]^{*}\left(\frac{6P_1}{t^2}\right)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 72}=\left[\frac{M_{\phi}}{M_1/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_1}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_L}\right)$$

$$\sigma_{x72}=\left[\frac{M_x}{M_1/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_1}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_L}\right)$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 82}=\left[\frac{M_{\phi}}{M_c/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_c}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_c}\right)$$

$$\sigma_{x82}=\left[\frac{M_x}{M_c/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_c}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_c}\right)$$

（へ）　X方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

【一次応力】

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 91}=\sigma_{\phi 61}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x91}=\sigma_{x61}/\sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 101}=\sigma_{\phi 71}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x101}=\sigma_{x71}/\sqrt{2}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 111}=\sigma_{\phi 81}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x111}=\sigma_{x81}/\sqrt{2}$$

周方向せん断力 Qによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{c4}=\tau_{c1}/\sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L5}=\tau_{L2}/\sqrt{2}$$

ねじりモーメントM_3により生じる胴の局部せん断応力は，次による。

$$\tau_6 = \tau_3/\sqrt{2}$$

【二次応力】

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 92} = \sigma_{\phi 62}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x92} = \sigma_{x62}/\sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 102} = \sigma_{\phi 72}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x102} = \sigma_{x72}/\sqrt{2}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 112} = \sigma_{\phi 82}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x112} = \sigma_{x82}/\sqrt{2}$$

（ト） 組合せ応力

(イ)～(ヘ)項によって算出される脚つけ根部に生じる胴の応力は，次により組み合わせる。

【一次一般膜応力】

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x5}$$

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}]$$

【一次応力（膜＋曲げ）】

胴の評価点を図 5-11 に示す。

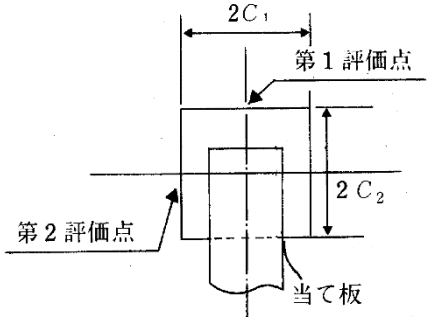


図 5-11　胴の評価点

① Z方向荷重が作用した場合

【第1脚つけ根部】

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi z1}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 71}$$

$$\sigma_{xz1}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x61}+\sigma_{x71}$$

$$\sigma_{11}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z1}+\sigma_{xz1})+\sqrt{(\sigma_{\phi z1}-\sigma_{xz1})^2}\right\}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi z2}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 61}$$

$$\sigma_{xz2}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x61}$$

$$\sigma_{12}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z2}+\sigma_{xz2})+\sqrt{(\sigma_{\phi z2}-\sigma_{xz2})^2+4(\tau_{L1}+\tau_{L2})^2}\right\}$$

【第2脚つけ根部】

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi z3}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}$$

$$\sigma_{xz3}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}$$

$$\sigma_{13}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z3}+\sigma_{xz3})+\sqrt{(\sigma_{\phi z3}-\sigma_{xz3})^2+4(\tau_{c1}+\tau_{3})^2}\right\}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi z4}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 81}$$

$$\sigma_{xz4}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x81}$$

$$\sigma_{14}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z4}+\sigma_{xz4})+\sqrt{(\sigma_{\phi z4}-\sigma_{xz4})^2+4(\tau_{L1}+\tau_{3})^2}\right\}$$

② X方向荷重が作用した場合

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi x1}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 101}$$

$$\sigma_{xx1}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x91}+\sigma_{x101}$$

$$\sigma_{15}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi x1}+\sigma_{xx1})+\sqrt{(\sigma_{\phi x1}-\sigma_{xx1})^2+4(\tau_{c4}+\tau_{6})^2}\right\}$$

（第 2 評価点）

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 111}$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 111}$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2}\left\{ \sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4(\tau_{L1} + \tau_{L5} + \tau_6)^2} \right\}$$

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11},\ \sigma_{12},\ \sigma_{13},\ \sigma_{14},\ \sigma_{15},\ \sigma_{16}]$$

【組合せ一次＋二次応力】

① Z 方向荷重が作用した場合

【第 1 脚つけ根部】

（第 1 評価点）

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72}$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 62} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72}$$

$$\sigma_{21} = \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2}$$

（第 2 評価点）

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62}$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 62}$$

$$\sigma_{22} = \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4\,\tau_{L2}{}^2}$$

【第 2 脚つけ根部】

（第 1 評価点）

$$\sigma_{\phi z 7} = 0$$

$$\sigma_{x z 7} = 0$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{\phi z 7} + \sigma_{x z 7} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 7} - \sigma_{x z 7})^2 + 4(\tau_{c1} + \tau_3)^2}$$

（第 2 評価点）

$$\sigma_{\phi z 8} = \sigma_{\phi 81} + \sigma_{\phi 82}$$

$$\sigma_{x z 8} = \sigma_{x 81} + \sigma_{x 82}$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{\phi z 8} + \sigma_{x z 8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 8} - \sigma_{x z 8})^2 + 4\,\tau_3{}^2}$$

② X方向荷重が作用した場合

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 1 0 1} + \sigma_{\phi 9 2} + \sigma_{\phi 1 0 2}$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 0 1} + \sigma_{x 9 2} + \sigma_{x 1 0 2}$$

$$\sigma_{2 5} = \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4(\tau_{c 4} + \tau_6)^2}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 9 2} + \sigma_{\phi 1 1 1} + \sigma_{\phi 1 1 2}$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 9 2} + \sigma_{x 1 1 1} + \sigma_{x 1 1 2}$$

$$\sigma_{2 6} = \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4(\tau_{L 5} + \tau_6)^2}$$

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{2 1},\ \sigma_{2 2},\ \sigma_{2 3},\ \sigma_{2 4},\ \sigma_{2 5},\ \sigma_{2 6}]$$

ハ. 脚の応力計算

（イ） 運転時質量による応力

$$\sigma_{s 1} = \frac{R}{A_s}$$

$$\sigma_{s 2} = \frac{\max\left[\left|R \cdot u - M_L - P \cdot L\right|, \left|R \cdot u - M_L\right|\right]}{Z_{s t}}$$

（ロ） 風荷重（Z方向）による応力

・ 第1脚

$$\sigma_{s 5} = \frac{R_1}{A_s}$$

$$\sigma_{s 6} = \frac{\max\left[\left|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L\right|, \left|R_1 \cdot u - M_1\right|\right]}{Z_{s t}}$$

ロ・ 第2脚

$$\sigma_{s 7} = \frac{\max\left[\left|Q \cdot L - M_3\right|, \left|M_3\right|\right]}{Z_{s r}}$$

（ハ） X方向荷重による応力

$$\sigma_{s 8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s}$$

$$\sigma_{s 9} = \frac{\max\left[\left|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L\right|, \left|R_1 \cdot u - M_1\right|\right]}{\sqrt{2} \cdot Z_{s t}}$$

$$\sigma_{s 1 0} = \frac{\max\left[\left|Q \cdot L - M_3\right|, \left|M_3\right|\right]}{\sqrt{2} \cdot Z_{s r}}$$

（ニ） 組合せ応力

脚の最大応力は，下記式による。

① Z方向荷重が作用した場合

・ 第1脚

$$\sigma_{sz1} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6}$$

・ 第2脚

$$\sigma_{sz2} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s7}$$

② X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sx} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s8} + \sigma_{s9} + \sigma_{s10}$$

$$\sigma_{s} = \max\left[\sigma_{sz1},\ \sigma_{sz2},\ \sigma_{sx}\right]$$

（ホ） 組合せ圧縮応力

① Z方向荷重が作用した場合

・ 第1脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s5}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s6}$$

$$\sigma_{sr} = 0$$

・ 第2脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2}$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s7}$$

② X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s8}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s9}$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s10}$$

圧縮と曲げの組合せについて，座屈評価用の式を次式より求める。

$$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_{c}} \leqq 1$$

ニ.　支持脚基礎溶接部の応力計算

（イ）　引張応力の算出

風圧力による荷重W_{T2}によるモーメントMにより，2本の支持脚には吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重Tが作用する。

モーメントの釣り合いを考えると，

$$M=W_{T2}\cdot L_g=2\cdot T\cdot L_1$$

よって吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重Tは以下のようになる。

$$T=\frac{W_{T2}\cdot L_g}{2L_1}$$

吸気口の支持脚基礎溶接部に生じる引張応力σ_tは以下のようになる。

$$\sigma_t=\frac{T}{A_w}=\frac{W_{T2}\cdot L_g}{2L_1\cdot A_W}$$

（ロ）　せん断応力の算出

吸気口の支持脚基礎溶接部に作用するせん断荷重Qは以下のようになる。

$$Q_1=\frac{W_{T2}}{4}$$

よって，吸気口の支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力τは以下のようになる。

$$\tau=\frac{Q_1}{A_W}=\frac{W_{T2}}{4A_w}$$

（ハ）　組合せ応力の算出

$$\sigma=\sqrt{\sigma_t^2+3\tau^2}$$

(3)　消音器（非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器）

a.　評価条件

消音器の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a)　設計竜巻の風圧力による荷重に自重を加えた荷重に対する，取付ボルト又は基礎ボルトの構造健全性を1質点系モデルとし，計算モデルが類似しているＪＥＡＧ４６０１の横形ポンプの計算方法を参考に評価を行う。なお，1質点系モデルの強度計算において，評価上高さの1/2又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。

(b)　排気消音器の転倒による閉塞により，ディーゼル発電機の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し，転倒を防止するための主要な支持部材のうち，荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し，更に支持断面積が小さいことから発生する応力が厳しくなる取付ボルト又は基礎ボルトを評価対象部位として設定する。

ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機２Ｄ）及びディーゼル発電機排気消音器（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機）については，フィルタ部と吸収部がフランジで結合されているが，軸方向からの風荷重についてフィルタ部と吸収部各々に風が当たるものとして評価することで保守的な評価になること，軸直角方向からの風荷重による応力は，フィルタ部と吸収部各々の支持脚を介し直下の取付ボルト又は基礎ボルトに発生することから，フィルタ部と吸収部それぞれについて評価を行う。

消音器のモデル図を図5-12～図5-14に示す。

(c)　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b.　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-16に示す。

表5-16　評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
取付ボルト 基礎ボルト	・引張 ・せん断 ・組合せ

c.　強度評価方法

(a)　記号の定義

消音器の強度計算に用いる記号を表5-17に示す。

表5-17　消音器の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_b	mm^2	ボルトの軸断面積
d	mm	ボルト呼び径
F_{bH}	N	ボルトに対する軸直角方向応力評価における引張力
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	排気消音器重心高さ
L_{gH}	mm	重心からボルト間の軸直角方向水平距離
m	kg	排気消音器の質量
N	－	ボルトの本数
Q_b	N	ボルトに対するせん断力
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
π	－	円周率
σ_{bH}	MPa	軸直角方向応力評価におけるボルトに生じる引張応力
τ	MPa	ボルトに生じるせん断応力

(b)　計算モデル

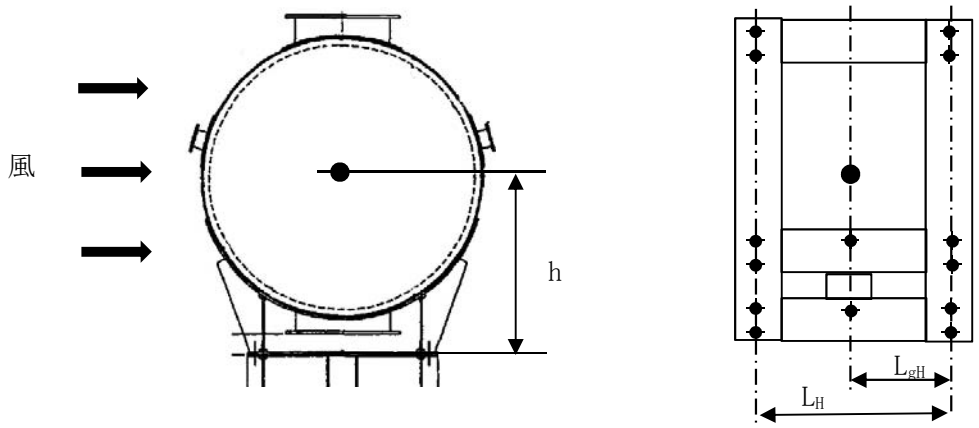


図 5-12(1/2)　非常用ディーゼル発電機２Ｃ排気消音器の評価モデル図（軸直角方向）

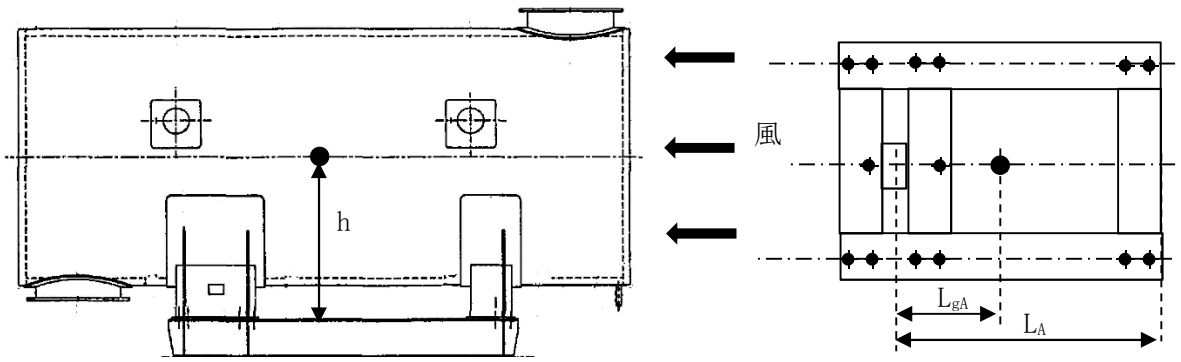


図 5-12(2/2)　非常用ディーゼル発電機２Ｃ排気消音器の評価モデル図（軸方向）

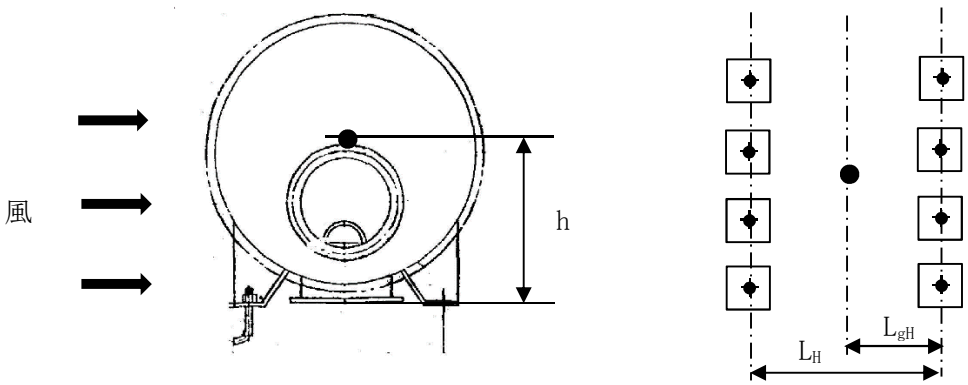


図 5-13(1/2)　非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（フィルタ部軸直角方向）

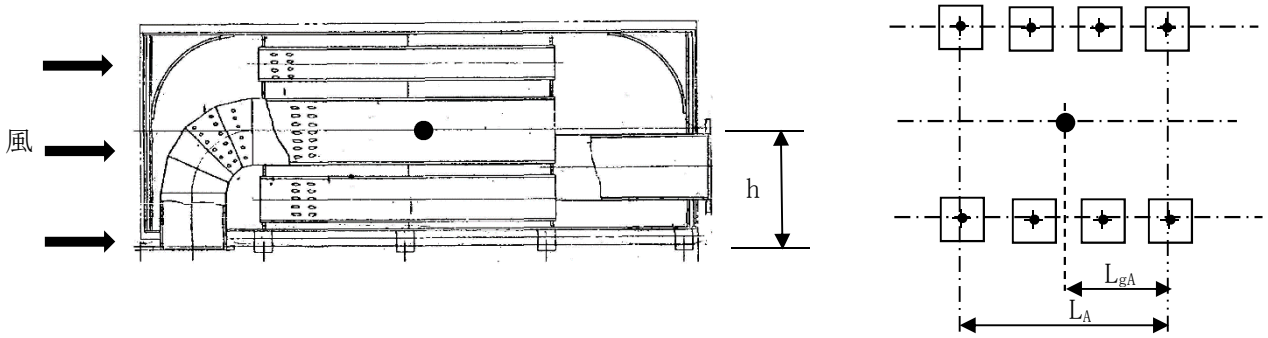


図 5-13(2/2)　非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（フィルタ部軸方向）

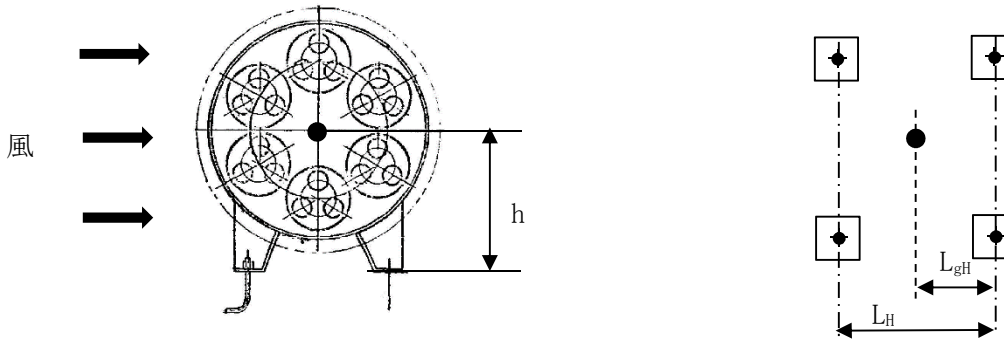


図 5-14(1/2)　非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器モデル図（吸収部軸直角方向）

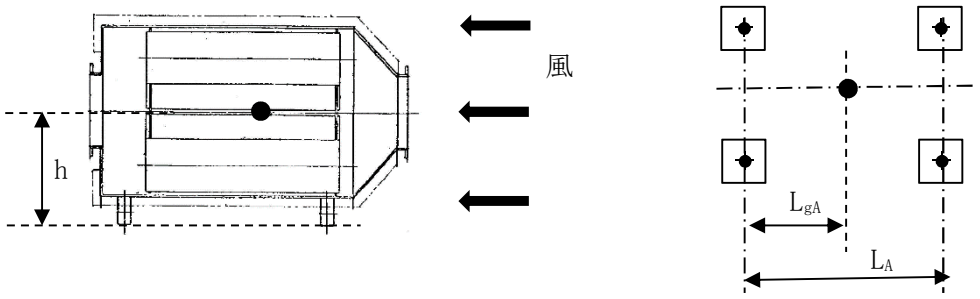


図 5-14(2/2)　非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（吸収部軸方向）

(c)　評価方法

イ．　引張応力

取付ボルト又は基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 5-12～図 5-14 で取付ボルト又は基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の取付ボルト又は基礎ボルトで受けるものとして計算する。

（イ）　軸直角方向

・　引張力

$$F_{bH}=\frac{W_T\cdot h-m\cdot g\cdot L_{gh}}{n_{fH}\cdot L_H}$$

・　引張応力

$$\sigma_{bH}=\frac{F_{bH}}{A_b}$$

ここで，取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b=\frac{\pi}{4}d^2$$

（ロ）　軸方向

・　引張力

$$F_{bA}=\frac{W_T\cdot h-m\cdot g\cdot L_{gA}}{n_{fA}\cdot L_A}$$

・　引張応力

$$\sigma_{bA}=\frac{F_{bA}}{A_b}$$

ここで，取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

ロ． せん断応力

取付ボルト又は基礎ボルトに対するせん断応力は，取付ボルト又は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

（イ） せん断力

$$Q_b = W_T$$

（ロ） せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

5.2.4 主排気筒

(1) 評価条件

主排気筒の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 主排気筒は筒身と鉄塔が一体となって構成されるため，施設全体で風圧力による一様な荷重を受けるモデルとして評価を行う。この際，設計竜巻による飛来物の衝撃荷重は鉄塔の部材を損傷させたモデルとして考慮することとし，W_M=0とする。

評価モデル図を図5-15に示す。

b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-18に示す。

表5-18 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
筒身	・組合せ（圧縮＋曲げ） ・せん断
鉄塔	・組合せ（圧縮＋曲げ）

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

主排気筒の強度評価に用いる記号を表5-19に示す。

表5-19　主排気筒の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
f_b	N/mm^2	曲げ材料強度
f_c	N/mm^2	圧縮材料強度
$_cf_{cr}$	N/mm^2	圧縮材料強度
$_sf_{cr}$	N/mm^2	せん断材料強度
σ_b	N/mm^2	曲げ応力度
σ_c	N/mm^2	平均圧縮応力度
$_c\sigma_b$	N/mm^2	圧縮側曲げ応力度

b.　計算モデル

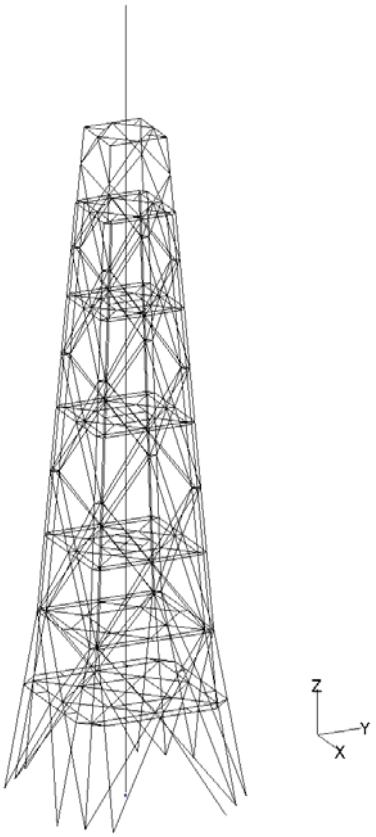


図 5-15　主排気筒モデル図

c.　評価方法

(a)　応力評価方法

主排気筒について，3 次元ＦＥＭを用いた弾性応力解析を実施する。

(b)　断面の評価方法

主排気筒の断面の評価に用いる応力は，3 次元ＦＥＭモデルを用いた応力解析により得られた各荷重による断面力（軸力，曲げモーメント，せん断力）を組み合せることにより算定する。

イ．　筒身板に対する断面の評価方法

（イ）　応力検定

機能維持検討の応力に対する断面算定は，「容器構造設計指針・同解説」に準拠して行う。

なお，断面性能の算定においては，腐食代 2 ㎜（外側：1 ㎜，内側：1 ㎜）を控除した数を用いる。

$$\frac{\sigma_c}{{}_cf_{cr}}+\frac{{}_c\sigma_b}{{}_cf_{cr}} \leqq 1$$

かつ

$$\frac{\tau}{{}_sf_{cr}} \leqq 1$$

ロ．　鉄塔主要部材に対する断面の評価方法

（イ）　応力検定

機能維持検討時の応力に対する断面算定は，「政令第 96 条」及び「平 13 国交告第 1024 号」に準拠して行う。

なお，断面性能の算定においては，腐食代 1mm（外側のみ 1mm）を控除した値を用いる。

$$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$$

（ロ）　機能維持検討時に対する材料強度

機能維持検討時は，「平 12 建告第 2464 号」に準拠し，材料強度Ｆ値を 1.1 倍した値を用いて算出した許容応力度に対して，部材に発生する応力が超えないことを確認する。

5.2.5　配管及び弁

(1)　評価条件

配管及び弁の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため，風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁とし，機械工学便覧の計算方法を参考に評価を行う。評価に用いる支持間隔はサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。配管のモデル図を図5-16及び図5-17に示す。

b.　弁を設置している箇所においては，弁の断面係数は配管に比べ大きく，配管の評価に包絡されるため配管の評価のみを実施する。

c.　サポート（配管支持構造物）については，建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており，配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも，作用荷重は耐荷重以下であるため，竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡される。

d.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-20に示す。

表5-20 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
配管本体	一次応力（膜＋曲げ）

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

配管及び弁の強度評価に用いる記号を表5-21に示す。

表5-21 配管及び弁の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
D	mm	管外径
g	m/s^2	重力加速度
L	m	支持間隔
M	N･m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
t	mm	板厚
W_W	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm^3	断面係数
π	－	円周率
ΔP	N/m^2	気圧差
σ_1，σ_2	MPa	配管に生じる応力
σ_{WP}	MPa	気圧差により生じる応力
σ_{WT1}，σ_{WT2}	MPa	複合荷重により生じる応力
σ_{WW}	MPa	風圧力により生じる応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

b. 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため，風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径，材質ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。保温材を使用している配管については，保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート支持間隔が短くなるため，弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

配管モデル図を図5-16，図5-17に示す。

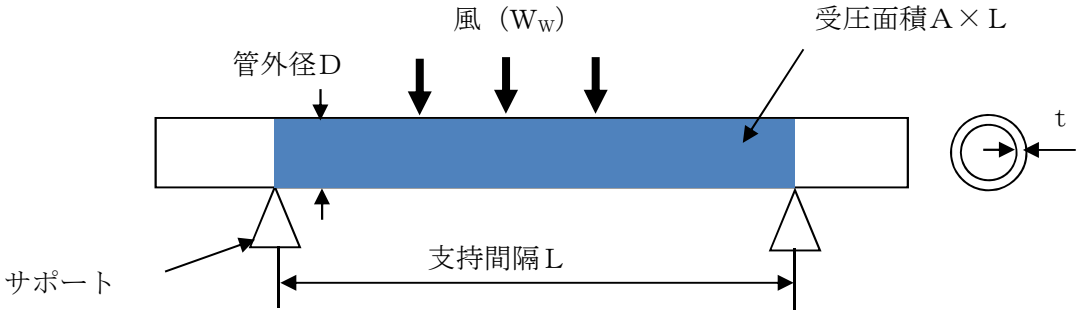


図 5-16　配管モデル図（両端支持形状）

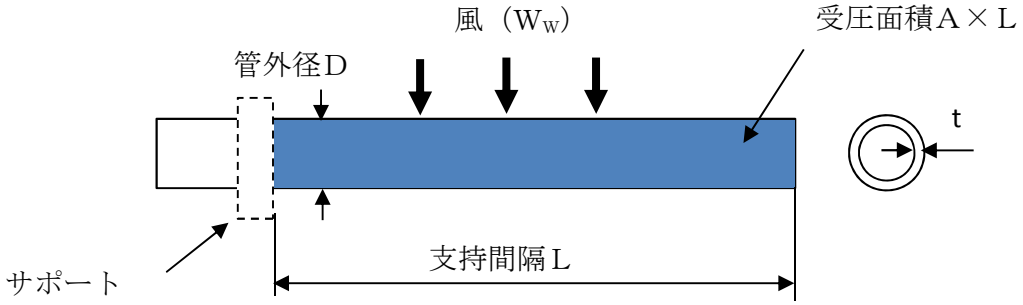


図 5-17　配管モデル図（片持ち形状）

c.　評価方法

(a)　竜巻による応力計算

イ.　風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

$$\sigma_{ww}=\frac{M}{Z}=\frac{W_W\cdot L^2}{8\cdot Z}$$

ここで，

$$Z=\frac{\pi}{32\cdot D}\left\{D^4-(D-2\cdot t)^4\right\}$$

ロ.　気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は，気圧が低下した分，内圧により生じる1次一般膜応力が増加すると考えて，その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP}=\frac{\Delta P\cdot D}{4\cdot t}$$

したがって，(a)，(b)項の複合荷重により生じる応力σ_{WT1}及びσ_{WT2}は以下の式により算出する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_p + 0.5 \cdot W_p$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として，配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる1次一般膜応力は，以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって，自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる1次一般膜応力を足し合わせ，配管に生じる応力として以下の式によりσ_1及びσ_2を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$
$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

5.2.6 換気空調設備

(1) 冷凍機

a. 評価条件

冷凍機の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a) 冷凍機の計算モデルは立方体の1質点モデルとし，計算モデルが類似しているＪＥＡＧ４６０１の横型ポンプの計算式を参考とし計算を行う。ここで，荷重の作用点は全高の1/2の位置に複合荷重が作用することとする。冷凍機モデル図を図5-18に示す。

(b) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-22に示す。

表5-22 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
取付ボルト	・引張 ・せん断 ・組合せ

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

冷凍機の強度計算に用いる記号を表5-23に示す。

表5-23 冷凍機の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_b	mm^2	取付ボルトの軸断面積
d	mm	取付ボルト呼び径
F_b	N	取付ボルトに対する引張力
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	冷凍機重心高さ
L_1	mm	取付ボルト間の水平距離
L_H	mm	重心から取付ボルト間の水平距離
m	kg	冷凍機の運転質量
N	－	取付ボルトの本数
n_f	－	引張力を受ける取付ボルトの本数
Q_b	N	取付ボルトに対するせん断力
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$）
π	－	円周率
σ_b	MPa	取付ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	取付ボルトに生じるせん断応力

(b) 計算モデル

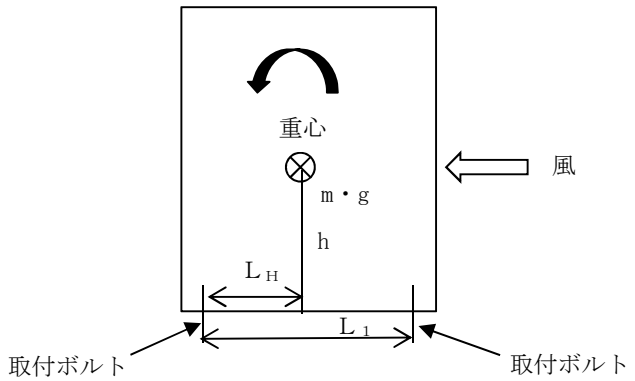


図 5-18 冷凍機モデル図

(c) 評価方法

イ. 引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 5-18 で取付ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

（イ） 引張力

$$F_b=\frac{W_w\cdot h-m\cdot g\cdot L_H}{n_f\cdot L_1}$$

（ロ） 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ロ． せん断応力

取付ボルトに対するせん断応力は，取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

（イ） せん断力

$$Q_b = W_w$$

（ロ） せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

(2) ダクト

a. 角ダクト

(a) 評価条件

角ダクトの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

イ． 角ダクトは，任意のダクト面に着目すると，ダクト面は両サイドをほかの2つの側面のダクト面で，軸方向（流れ方向）を補強部材（及び接続部材）で支持された長方形の板とみなすことができる。そのため，鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された4辺単純支持矩形板とし評価を行う。自重等によりダクトに生じる曲げモーメントに関し，ウェブでの応力分布が線形で，中立面がフランジの両側から等距離の中央線上にあるとする。角ダクトモデル図を図5-19に示す。

ロ． 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(b) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-24に示す。

表5-24 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
ダクト鋼板 （本体）	・曲げ ・座屈

(c) 強度評価方法

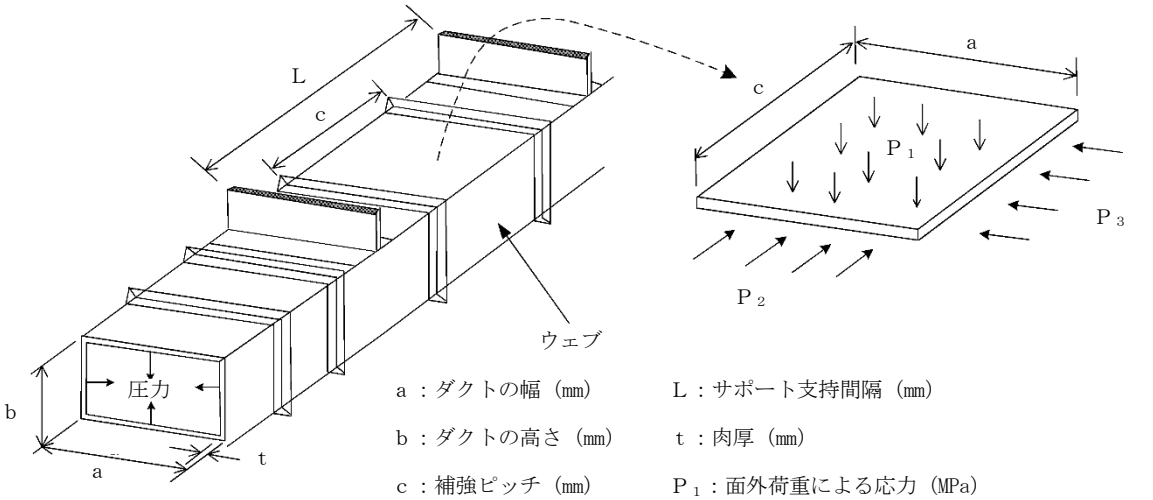
イ． 記号の定義

角ダクトの強度評価に用いる記号を表5-25に示す。

表5-25　角ダクトの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	補強ピッチ
D_p	kg/m^2	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
E	MPa	ヤング率
g	m/s^2	重力加速度
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M_p	N･mm	自重により作用する曲げモーメント
P	MPa	ダクトにかかる外圧
t	mm	ダクト板厚
δ_{max}	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
π	－	円周率
μ	kg/m	ダクト単位重量
ν	－	ポアソン比
σ_{max}	MPa	中心に生じる面外荷重による最大応力
σ_{p1}	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
σ_y	MPa	許容応力

ロ．　計算モデル



a：ダクトの幅（mm）　　L：サポート支持間隔（mm）

b：ダクトの高さ（mm）　　t：肉厚（mm）

c：補強ピッチ（mm）　　P_1：面外荷重による応力（MPa）

P_2：面内荷重による応力（ダクト軸方向）（MPa）

P_3：面内荷重による応力（ダクト軸直方向）

図5-19　角ダクトモデル図

ハ. 評価方法

ダクトにかかる外圧は，設計竜巻により発生する気圧差が影響するので，

$P = \Delta P$

（イ） 面外荷重による発生応力

4辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力σ_{max}とその面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量δ_{max}との関係は，以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

式（5.6）より得られるδ_{max}の値を式（5.5）へ代入し，σ_{max}を算出する。

（ロ） 面内荷重による発生応力

機械工学便覧の「クリップリングの考え方」と日本機械学会ジャーナルの「薄肉長方形及び箱形はりの座屈と強度」に記載されている鵜戸口の式を準用する。

・ 外圧による発生応力

薄肉構造物のうち，長方形板の弾性座屈の式より算出する。

・ 自重による曲げモーメント

自重によりダクト鋼板に作用する曲げモーメントは，以下の式により算出する。

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

b. 丸ダクト

(a) 評価条件

丸ダクトの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

イ. 丸ダクトは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし，計算を行う。

丸ダクトモデル図を図5-20に示す。

ロ. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(b) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-26に示す。

表5-26 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
ダクト鋼板 (本体)	・周方向応力 ・座屈

(c) 強度評価方法

イ. 記号の定義

丸ダクトの強度評価に用いる記号を表5-27に示す。

表5-27 丸ダクトの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
c	mm	補強ピッチ
g	m/s^2	重力加速度
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M_p	N･mm	自重により作用する曲げモーメント
r	mm	丸ダクトのダクト半径
t	mm	ダクト板厚
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
μ	kg/m	ダクトの単位長さ当たりの質量
σ_{cr1}	MPa	外圧により生じる周方向応力

ロ．　計算モデル

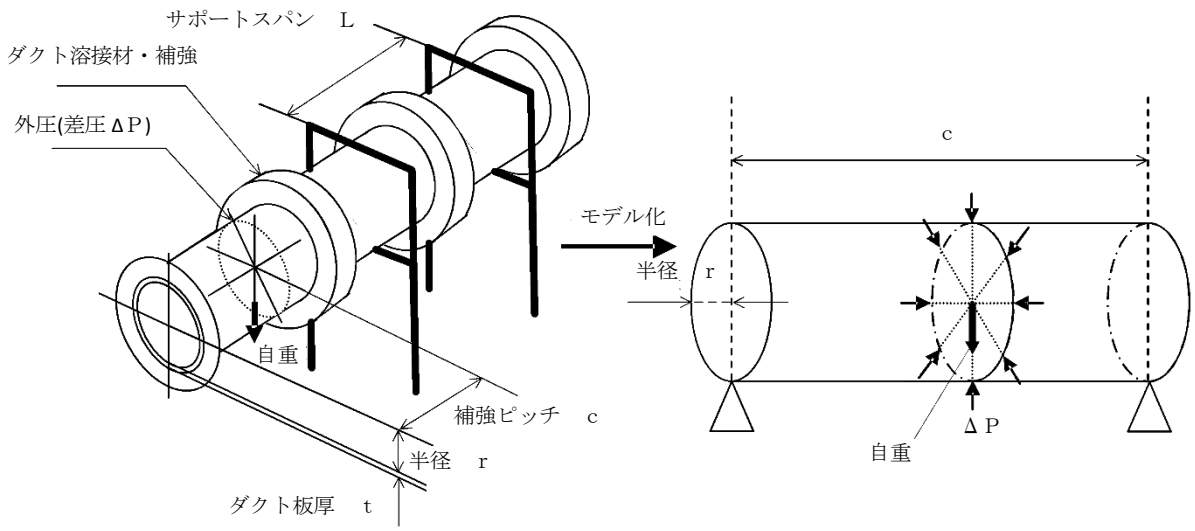


図5-20　丸ダクトモデル図

ハ．　評価方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

（イ）　外圧により生じる周方向応力σ_{crip1}

$$\sigma_{crip1}=\frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

（ロ）　自重により作用する曲げモーメントM_P

$$M_p=\frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

(3)　隔離弁

a.　評価条件

隔離弁の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a)　弁箱は両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし，計算を行う。弁箱のモデル図を図5-21に示す。

(b)　弁体は円板であるため，等分布荷重が作用する周辺支持円板とみなし，計算を行う。評価モデル図を図5-22に示す。

(c)　弁体に受ける等分布荷重を支持する弁棒断面について，計算を行う。評価モデル図を図5-23に示す。

(d)　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b.　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-28に示す。

表5-28　評価対象部位及び評価内容

機器形状	評価対象部位	応力等の状態
バタフライ弁	弁箱	周方向応力
	弁体	曲げ
	弁棒	せん断

c.　強度評価方法

(a)　記号の定義

隔離弁の強度計算に用いる記号を表5-29に示す。

表5-29　隔離弁の強度計算に用いる記号

記号	単位	定義
A_s	m^2	弁棒の断面積
A_v	m^2	弁体の受圧面積
a	mm	弁体の半径
d	mm	弁棒の直径
F_1	N	設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重
F_2	N	弁体自重により弁棒に受ける荷重
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	弁体の板厚
m_v	kg	弁体自重
m_s	kg	弁棒自重
P_1	Pa	設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力
P_2	Pa	自重により弁体に受ける応力
p_v	Pa	弁体に受ける応力
p_s	N	弁棒に受ける荷重
r	mm	内半径
t	mm	板厚
π	－	円周率
τ	MPa	弁棒に対するせん断応力
σ_{max}	MPa	弁体に対する曲げ応力
σ_θ	MPa	周方向応力
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量

(b)　評価方法

イ.　弁箱

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_\theta = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

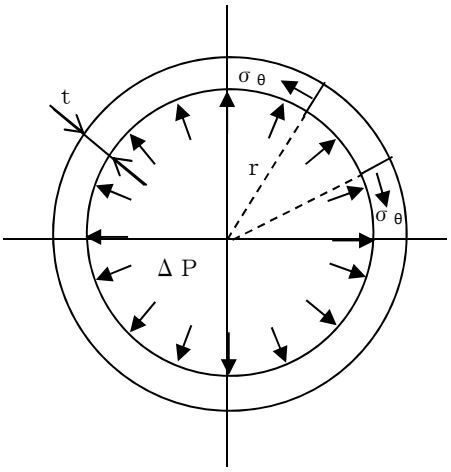


図5-21　弁箱モデル図

ロ．　弁体

弁体に作用する曲げ応力を，機械工学便覧の計算式を準用し計算する。計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力P_1及び自重により弁体に受ける応力P_2は次による。

$$P_1 = \Delta P$$

$$P_2 = \frac{m_v \cdot g}{A_v}$$

ここで

$$A_v = \frac{\pi}{4}(2a)^2$$

弁体に受ける応力p_vは次による。

$$p_v = P_1 + P_2$$

弁体に対する曲げ応力は次による。

$$\sigma_{max} = 1.24 \cdot \frac{p_v \cdot a^2}{h^2}$$

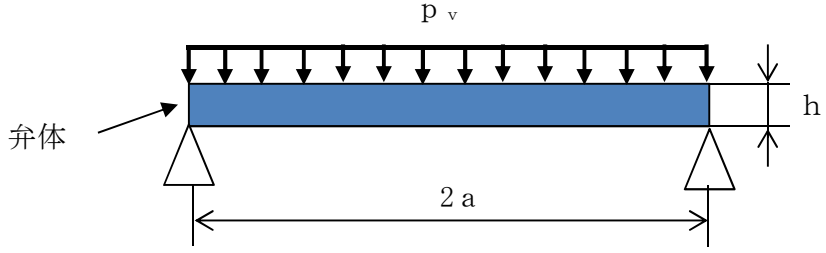


図 5-22　弁体モデル図

ハ.　弁棒

弁棒に作用するせん断応力を，機械工学便覧の計算式を準用し計算する。計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重F_1及び弁体及び弁棒自重により弁棒に受ける荷重F_2は次による。

$$F_1 = \Delta P \cdot \frac{\pi}{4} (2a)^2$$

$$F_2 = (m_v + m_s) \cdot g$$

弁棒に受ける荷重p_sは次による。

$p_s = F_1 + F_2$

弁棒に対するせん断応力は次による。

$$\tau = \frac{p_s}{A_s}$$

ここで

$$A_s = \frac{\pi}{4} d^2$$

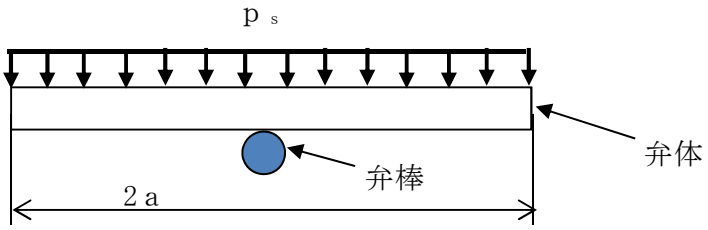


図 5-23　弁棒モデル図

(4)　ファン

a.　評価条件

ファンの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a)　屋内に設置するファンの計算モデルは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし，計算を行う。ファンケーシングモデル図を図5-24に示す。

(b)　屋外に設置するファンの計算モデルは円筒形の1質点モデルとし，上端部に複合荷重が作用することとする。ファンモデル図を図5-25に示す。

(c)　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b.　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-30に示す。

表5-30　評価対象施設，部位及び評価内容

評価対象施設	評価対象部位	応力等の状態
屋内に設置するファン	ケーシング	周方向応力
屋外に設置するファン	取付ボルト 基礎ボルト	・引張 ・せん断 ・組合せ

c.　強度評価方法

(a)　記号の定義

ファンの強度計算に用いる記号を表5-31に示す。

表5-31　ファンの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_b	mm^2	ボルトの軸断面積
F_b	N	ボルトに対する引張力
F_i	N	各ボルトに作用する引張力
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	全高
L_i	mm	各ボルト間の距離
M	N･mm	設計竜巻により作用するモーメント
m	kg	ファンの質量
N	－	ボルトの本数
Q_b	N	ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
r	mm	ケーシング内半径
t	mm	ケーシング板厚
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
σ_b	MPa	ボルトに生じる引張応力
σ_θ	MPa	周方向応力
τ	MPa	ボルトに生じるせん断応力

イ．　屋内に設置するファン

（イ）　計算方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_\theta = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

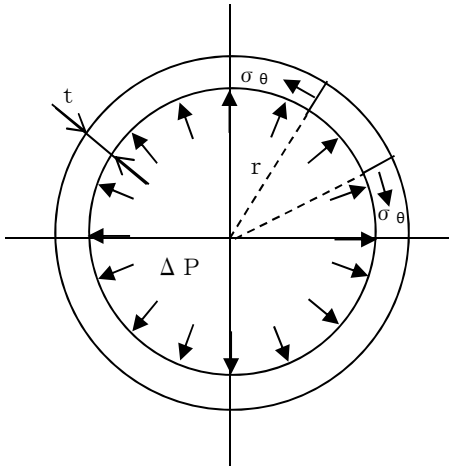


図5-24　ファンケーシングモデル図

ロ．　屋外に設置するファン

機械工学便覧を参考に算出する。

（イ）　計算方法

【引張応力】

$$M=2\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot L_i \qquad \cdots \quad (5.7)$$

$$\frac{F_i}{L_i}=\text{一定} \qquad \cdots \quad (5.8)$$

(5.7)　(5.8) 式より，

$$F_n=\frac{M}{2\sum_{i=1}^{n} L_i^{\,2}} L_n$$

ここで

$$M=W_w \cdot h - m \cdot g \cdot \frac{L_n}{2}$$

ボルトに生じる引張応力σ_bは次式より求める。

$$\sigma_b=\frac{F_n}{A_b}$$

【せん断応力】

ボルトに対するせん断応力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

【せん断力】

$$Q_b = W_w$$

【せん断応力】

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

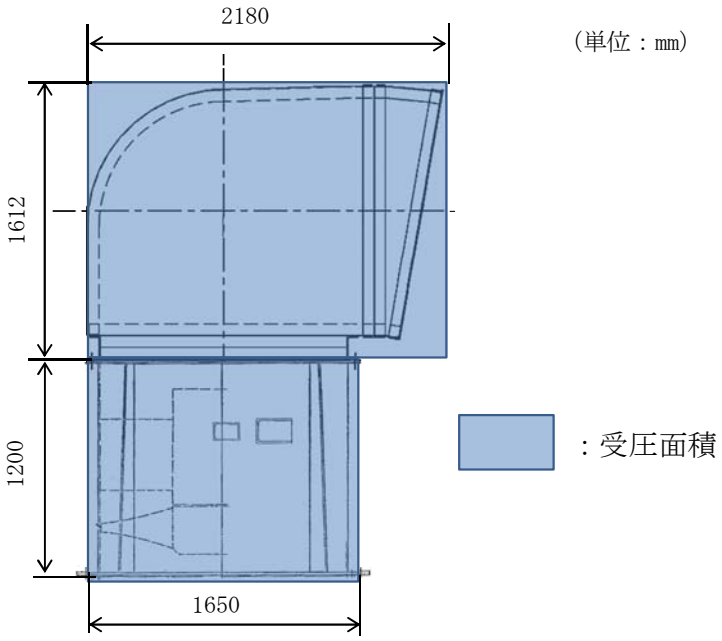


図 5-25　ファンモデル図

6. 適用規格

Ⅴ-1-1-2-3-1 においては，竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち，竜巻の影響を考慮する施設のうち防護対策施設及び屋外重大事故等対処設備の固縛装置を除く施設の強度設計に用いる規格，基準等を以下に示す。

・建築基準法及び同施行令
・日本工業規格（ＪＩＳ）
・「原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編ＪＥＡＧ４６０１－補 1984」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（社）日本電気協会
・「発電用原子力設備規格設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（社）日本機械学会
・ＩＳＥＳ７６０７-３「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査　その３　ミサイルの衝突による　構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」（高温構造安全技術研究組合）
・「タービンミサイル評価について」（昭和52年7月20日　原子炉安全専門審査会）
・Methodology for Performing Aircraft Impacts Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13))
・「コンクリート標準示方書　設計編」（（社）土木学会，2007 改定）
・「コンクリート標準示方書 2002 年（構造性能照査編）及び 2012 年（設計編）」土木学会
・「道路橋示方書・同解説」　Ⅱ鋼橋編，Ⅳ下部構造編（(社)日本道路協会　平成 24 年 3 月）
・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004 改定）
・「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（（社）日本建築学会，2005 改定）
・「各種合成構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，2010 改定）
・「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（（社）日本建築学会，1988）
・「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（（社）日本建築学会，1999）
・「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（（社）日本建築学会，2010）
・「容器構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，2010）
・「煙突構造設計施工指針」（（一財）日本建築センター，1982）
・「塔状鋼構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，1980）
・「煙突構造設計指針」（（社）日本建築学会，2007）
・「2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書」（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）
・「新版機械工学便覧」（1987 年日本機械学会編）

（参考文献）

・「自動車の衝突安全」2012年2月29日 名古屋大学出版会 著者 水野幸治

Ⅴ-3-別添 1-1-1　竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 35
2.3.1 衝突評価 35
2.3.2 裏面剥離評価 35
2.3.3 変形評価 36
2.4 適用規格 37
3. 強度評価方法 38
3.1 記号の定義 38
3.2 評価対象部位 41
3.2.1 衝突評価 41
3.2.2 裏面剥離評価 41
3.2.3 変形評価 42
3.3 荷重及び荷重の組合せ 42
3.3.1 荷重の設定 43
3.3.2 荷重の組合せ 44
3.4 許容限界 46
3.4.1 衝突評価 46
3.4.2 裏面剥離評価 47
3.4.3 変形評価 47
3.5 評価方法 48
3.5.1 衝突評価 48
3.5.2 裏面剥離評価 55
3.5.3 変形評価 63
4. 評価条件 89
4.1 衝突評価 89
4.1.1 式による評価（ＲＣ造部） 89
4.1.2 式による評価（鋼製部） 90
4.1.3 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ 90
4.2 裏面剥離評価 91
4.2.1 式による評価 91
4.2.2 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ 92
4.2.3 原子炉建屋原子炉棟外壁 92
4.2.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁 93
4.3 変形評価 93

5.　強度評価結果 106
5.1　衝突評価 106
5.2　裏面剥離評価 107
5.3　変形評価 108

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，竜巻より防護すべき施設を内包する施設である原子炉建屋（竜巻の影響に対する防護機能を期待する扉を含む），タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋，緊急時対策所建屋（以下「建屋」という。）及び軽油貯蔵タンクタンク室（以下「構造物」という。）が，設置（変更）許可申請において示す設計飛来物（以下「飛来物」という。）の衝突に加え，風圧力及び気圧差に対し，竜巻時及び竜巻通過後においても，竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう，内包する竜巻より防護すべき施設に飛来物が衝突することを防止する機能を有すること及び竜巻より防護すべき施設に必要な機能を損なわないことを確認するものである。

竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設に整理している，海水ポンプエリア防護壁についても，竜巻より防護すべき施設を内包する施設としての機能を期待する部位を含んでいることから，当該機能が損なわれないことについても確認する。

また，可搬型重大事故等対処設備の運搬時に使用するアクセスルートの近傍に設置されている廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備についても，竜巻時において，アクセスルートの通行性に影響を与えないことを確認する。

2. 基本方針

建屋及び構造物について，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，建屋及び構造物の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

建屋及び構造物については，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外に設置する。建屋及び構造物の位置図を図2-1に示す。なお，海水ポンプエリア防護壁の位置については，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1-10-1　建屋及び構造物の強度計算書」に示す。

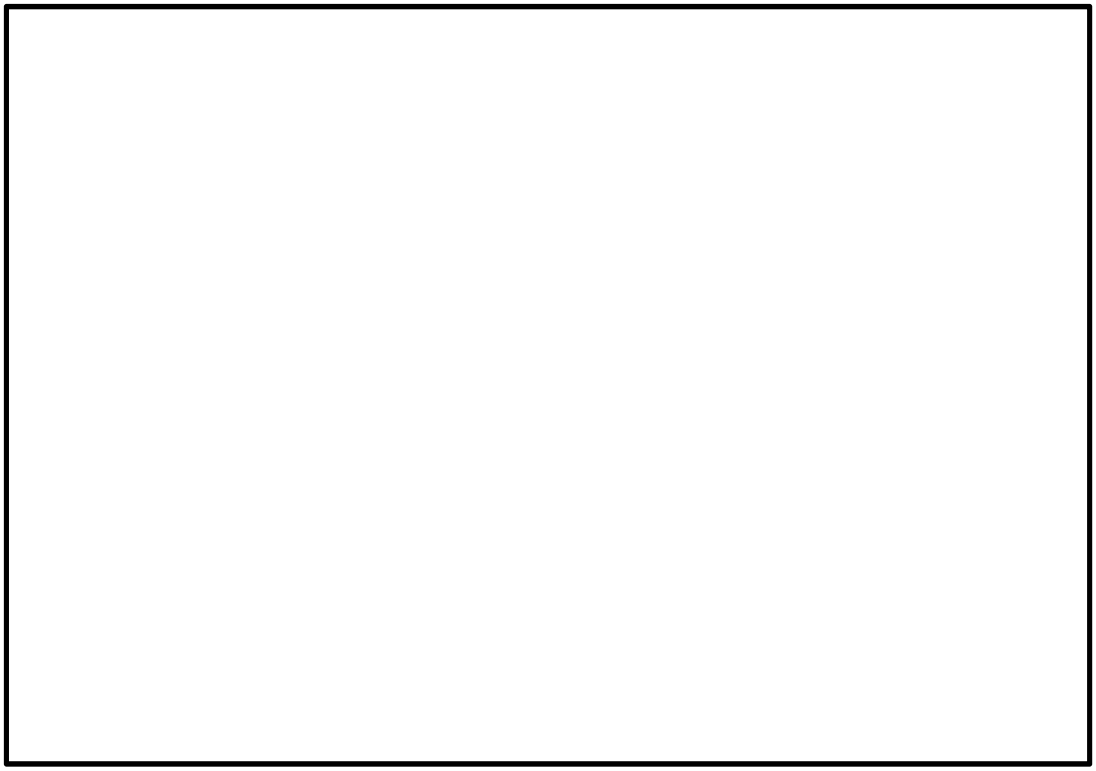


図 2-1　建屋及び構造物の位置図

2.2　構造概要

建屋及び構造物は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画とする。

原子炉建屋及びタービン建屋は，主体構造が鉄筋コンクリート造（以下「ＲＣ造」という。）で，一部鉄骨造を有する構造である。また，原子炉建屋には，外殻を構成する部材として竜巻の影響に対する防護機能を期待する扉が設置されている。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，主体構造がＲＣ造で，一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造を有する構造である。

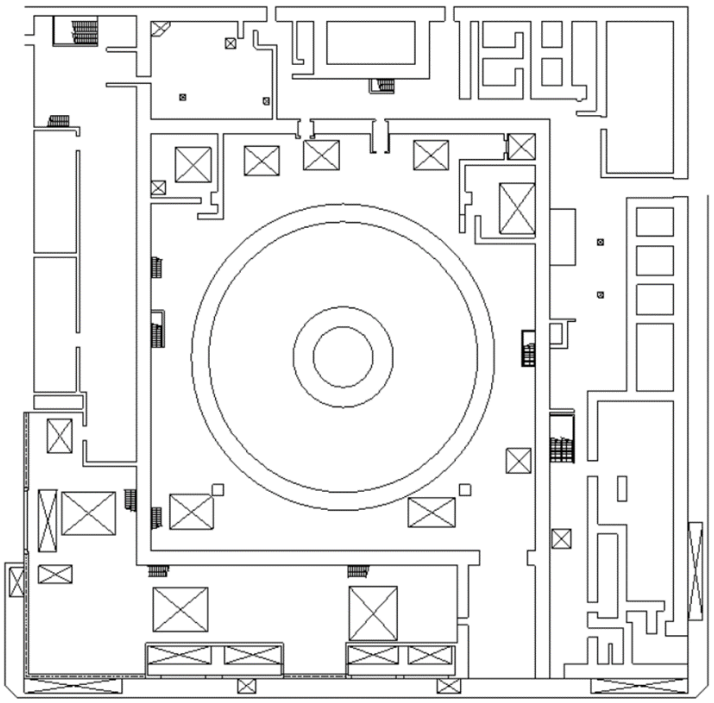
軽油貯蔵タンクタンク室は，地中に埋設された構造物であり，地上部に露出する頂版を含めた外殻の躯体はＲＣ造とし，地上部に露出する開口部の蓋は鋼製である。

廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備は，鉄骨造を有する構造である。

建屋及び構造物の概略平面図，概略断面図及び位置図を図 2-2～図 2-31 に示す。

なお，海水ポンプエリア防護壁については，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1-10-1　建屋及び構造物の強度計算書」に示す。

(EL. 46.5 m)



(EL. 8.2 m)

図2-2 の概略平面図

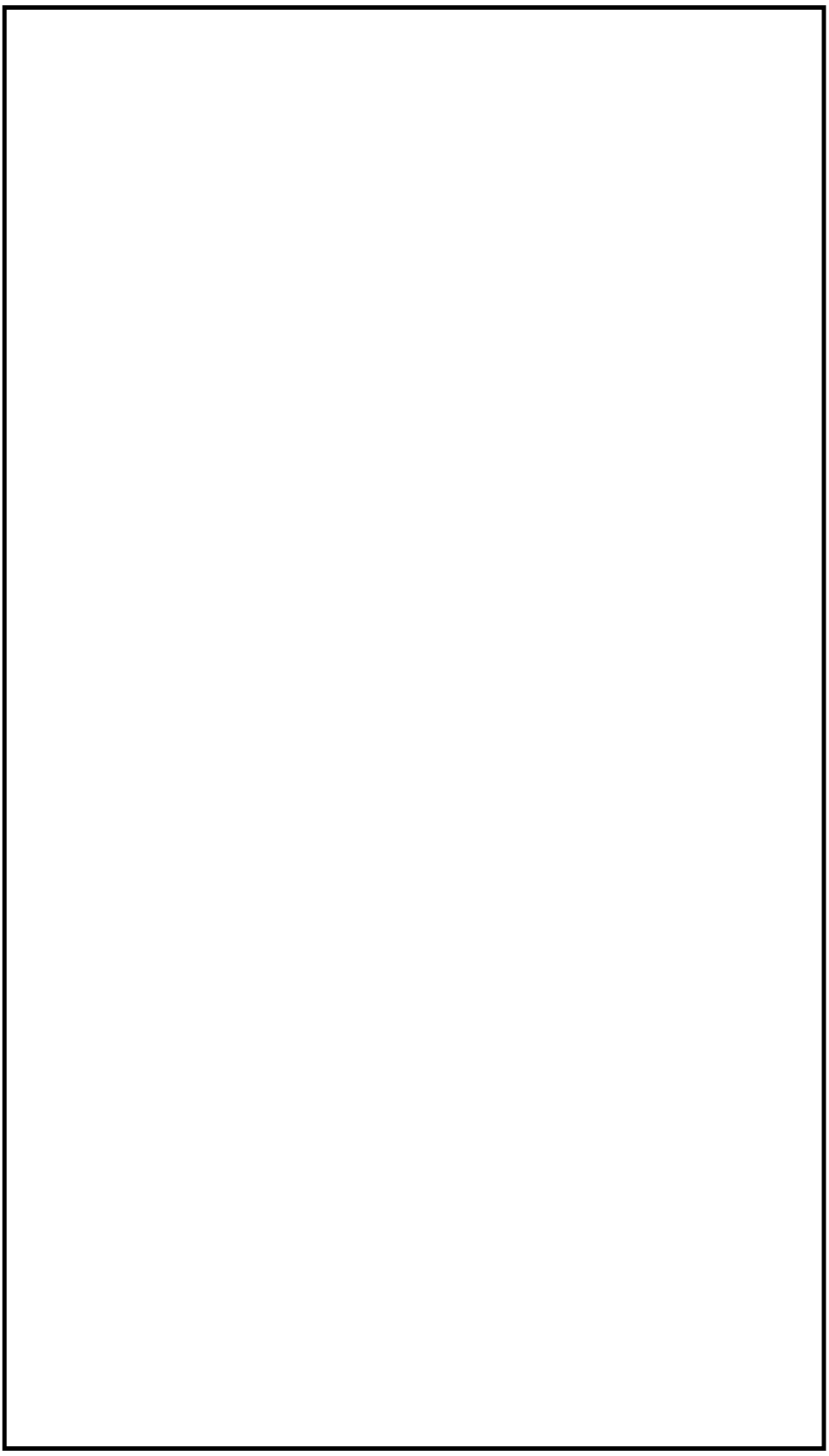
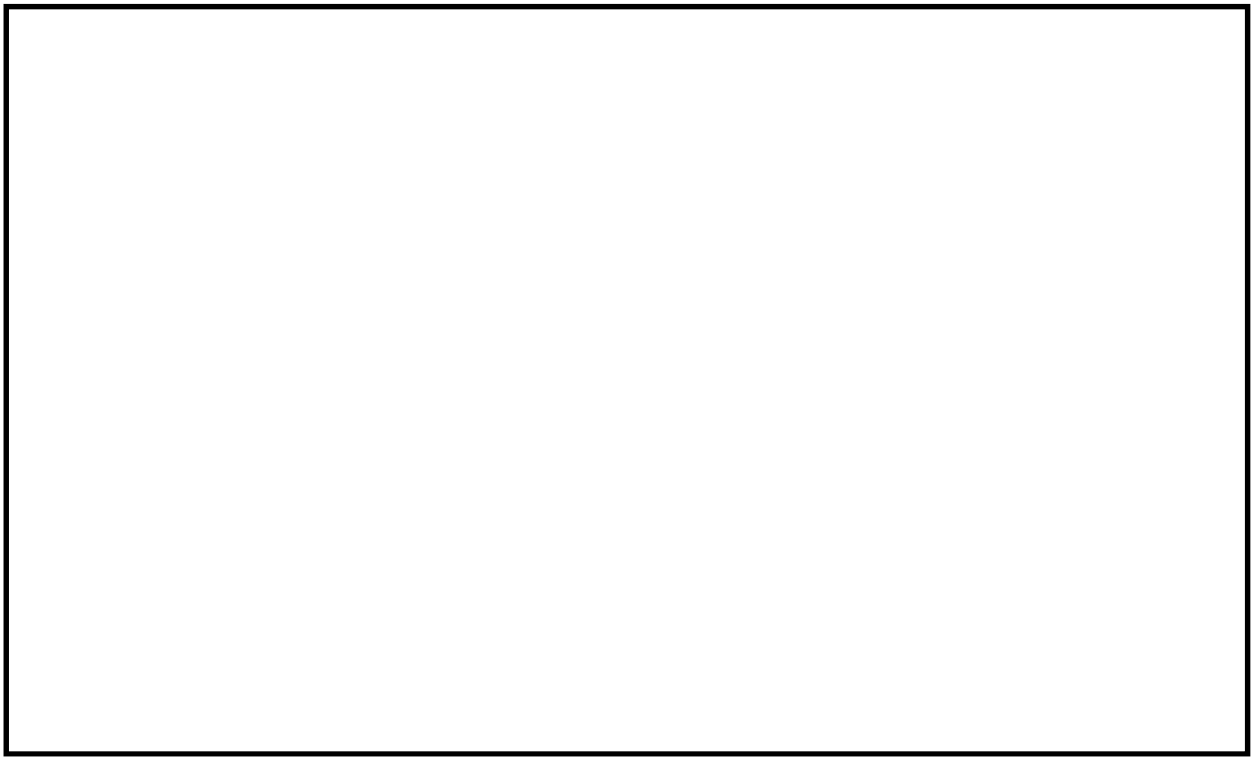


図 2-3　原子炉建屋の概略断面図(1/2)



（立面図：東側）

図 2-3　原子炉建屋の概略断面図(2/2：鉄骨造部)

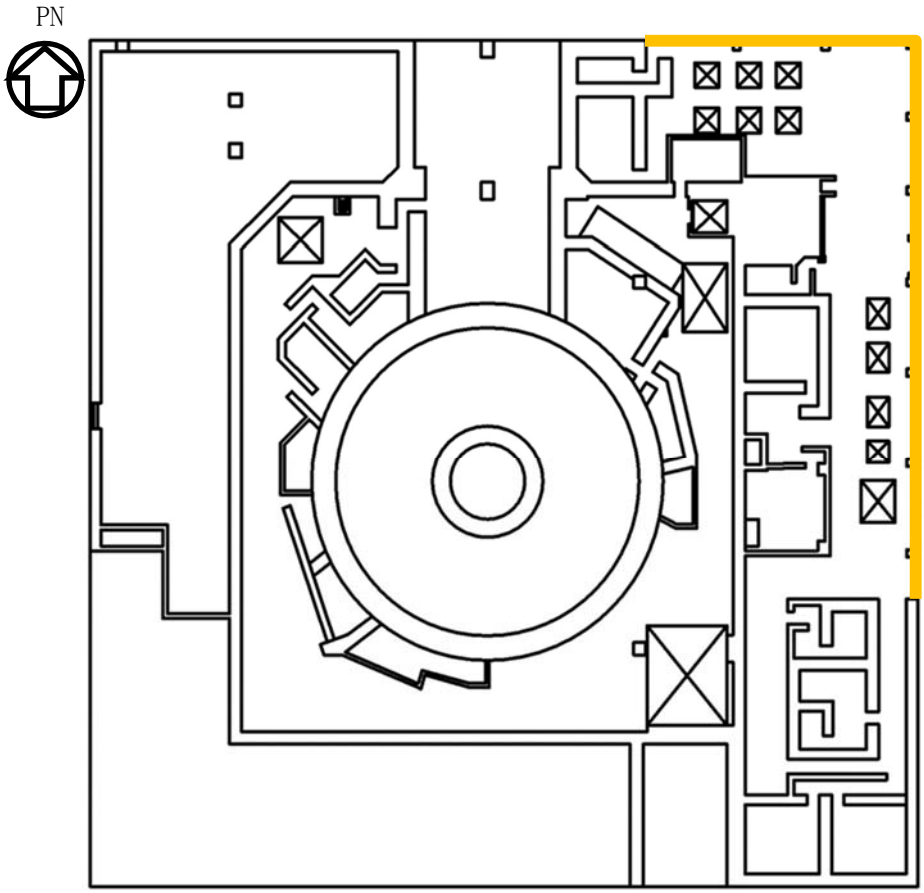


図2-4　鉄骨造部の位置図（1/3：EL. 14. 0m）

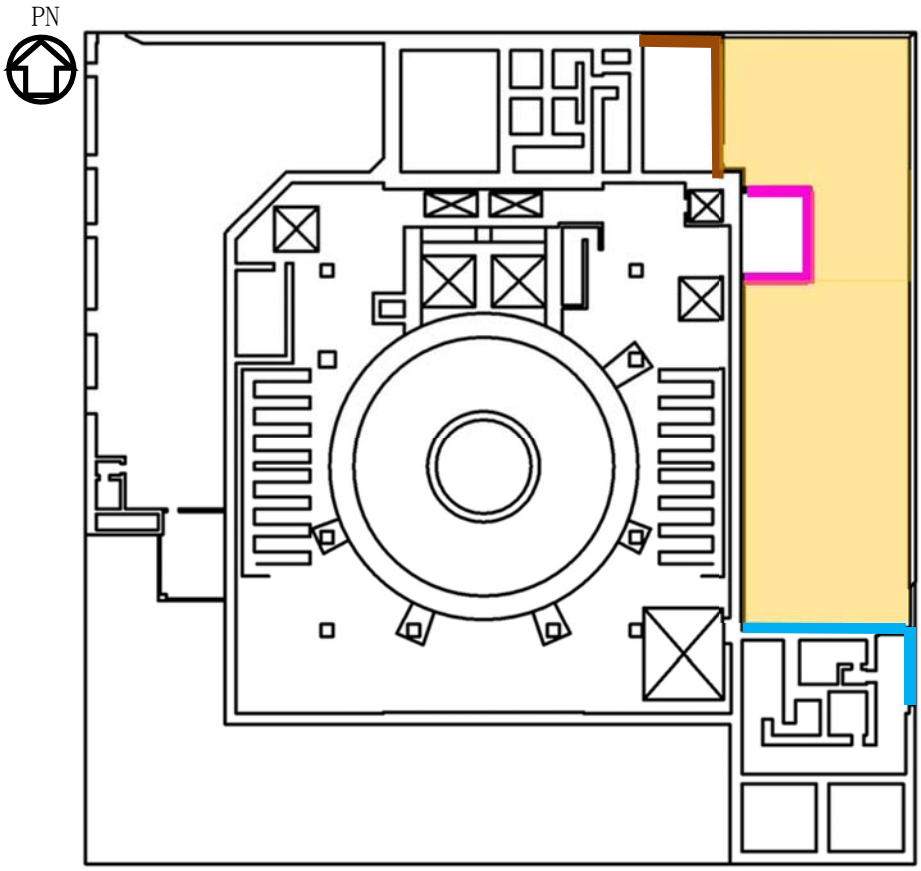


図2-4　鉄骨造部の位置図（2/3：EL. 23. 0m）

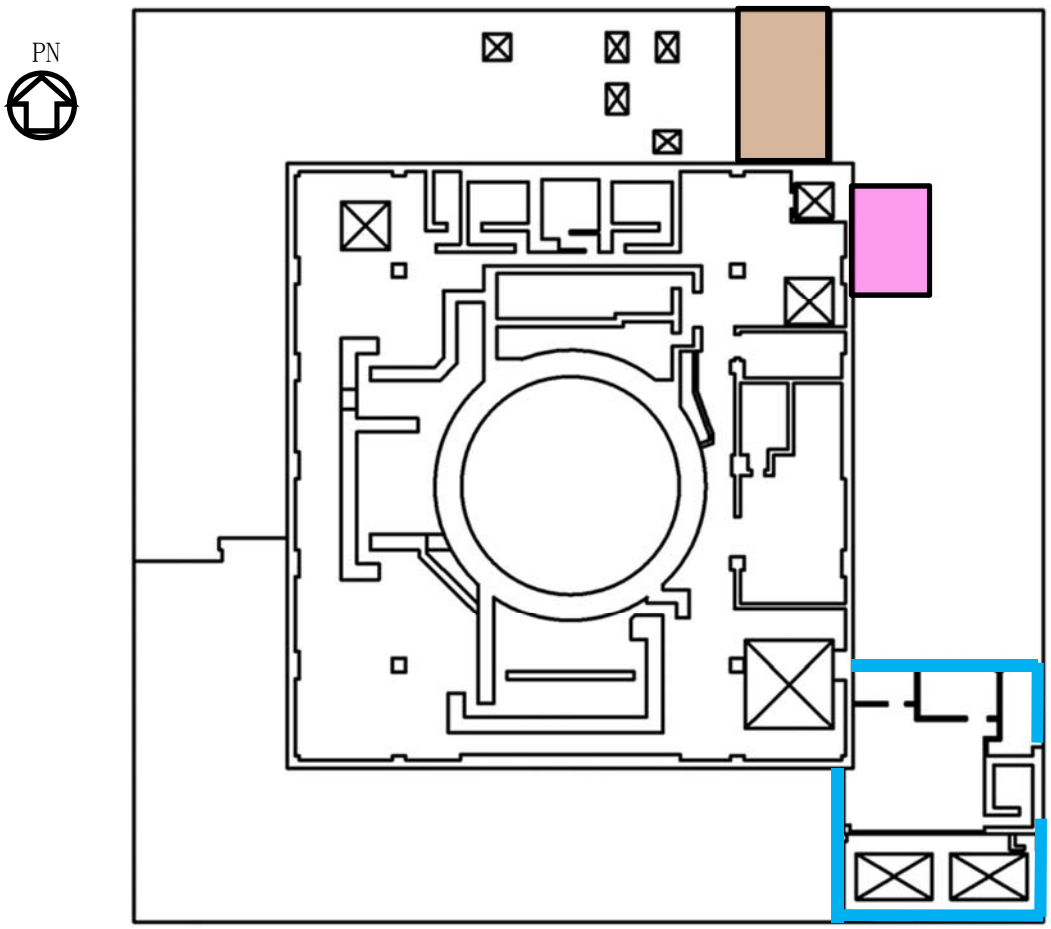


図2-4　鉄骨造部の位置図（3/3：EL.30.0m）

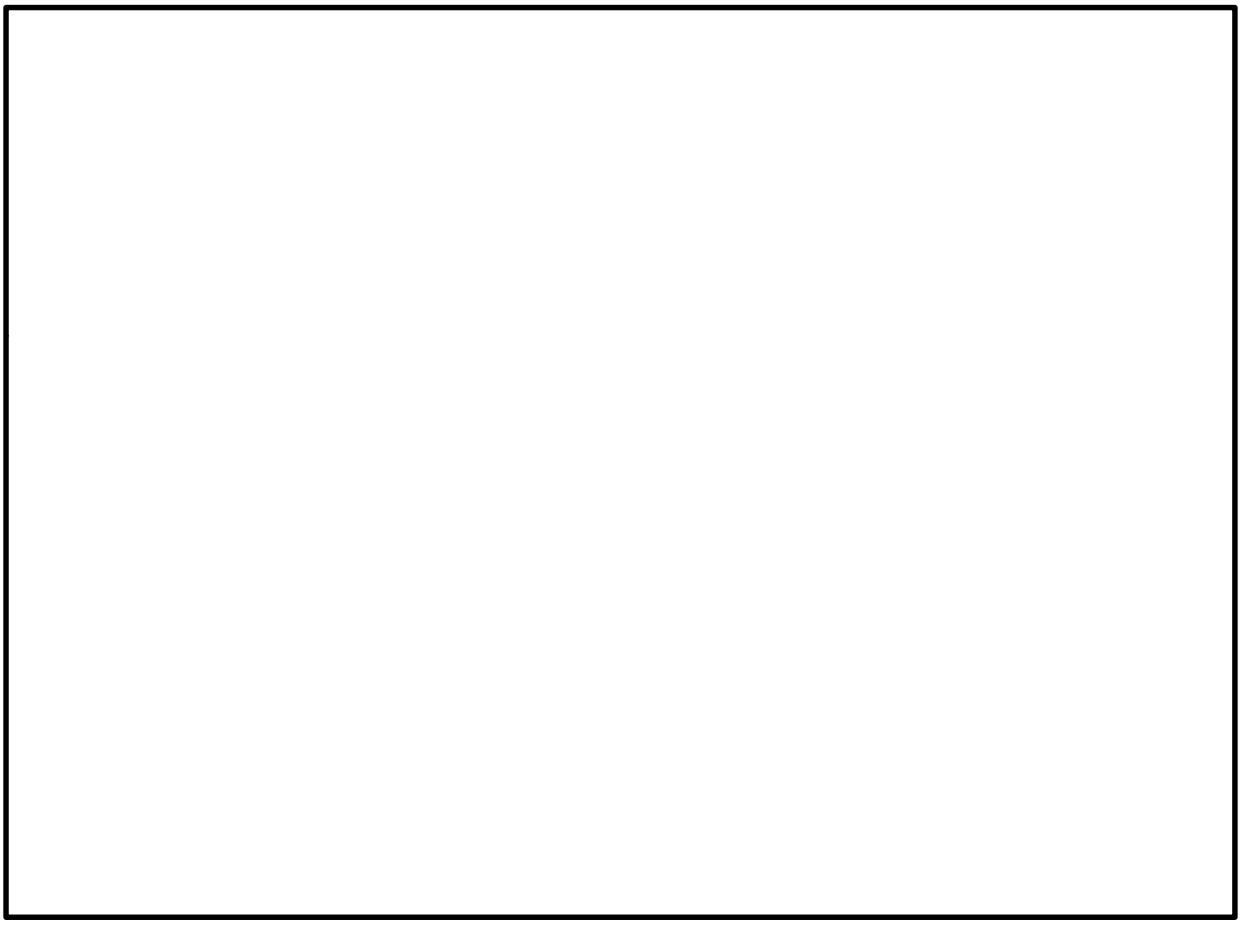


図2-5　竜巻の影響に対する防護機能を期待する扉の位置図（立面図：東側）

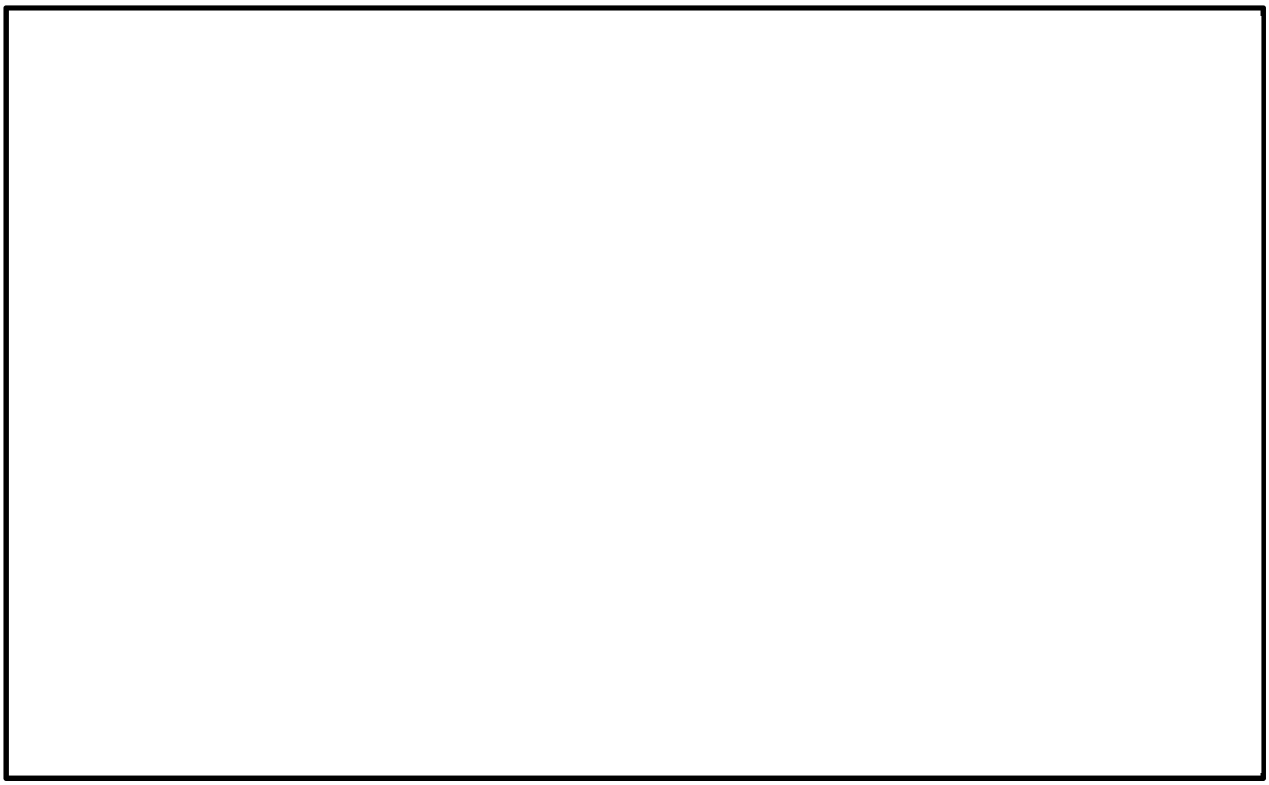


図2-6　竜巻の影響に対する防護機能を期待する扉の位置図（立面図：西側）

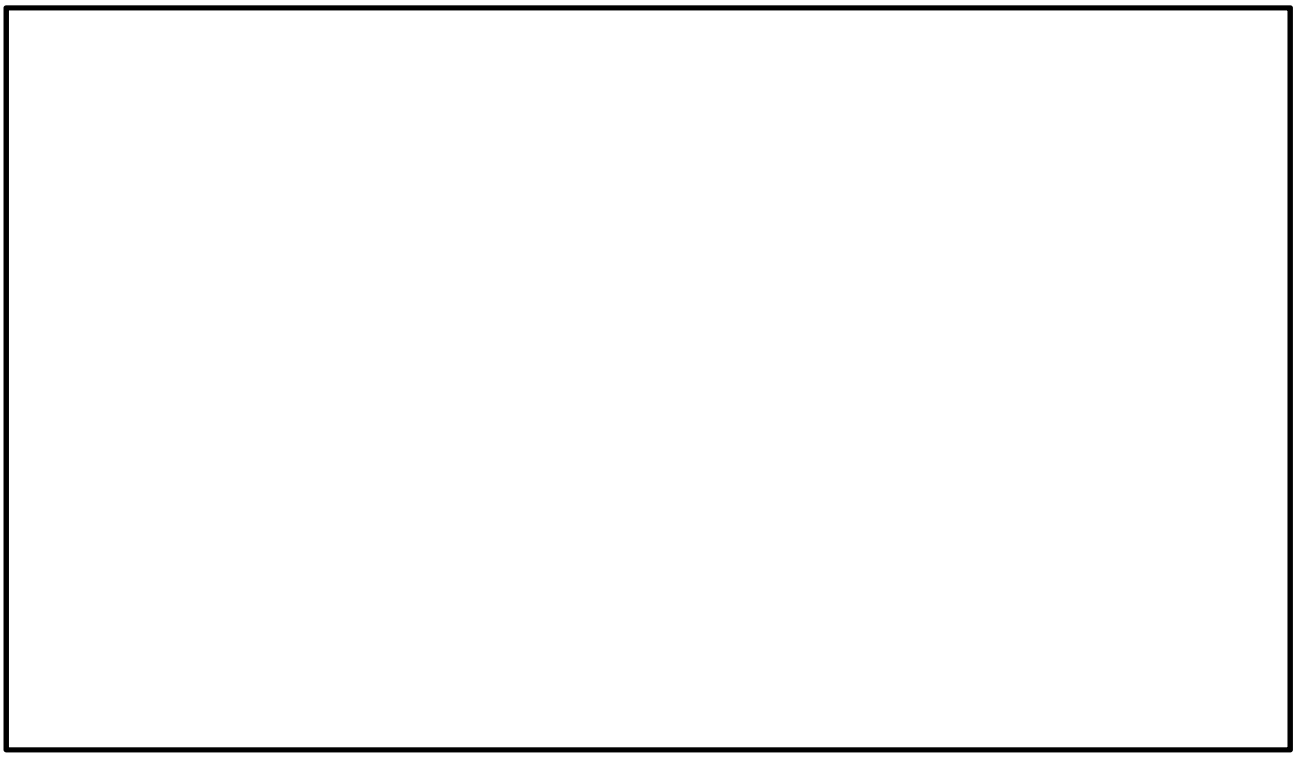


図2-7　竜巻の影響に対する防護機能を期待する扉の位置図（立面図：南側）

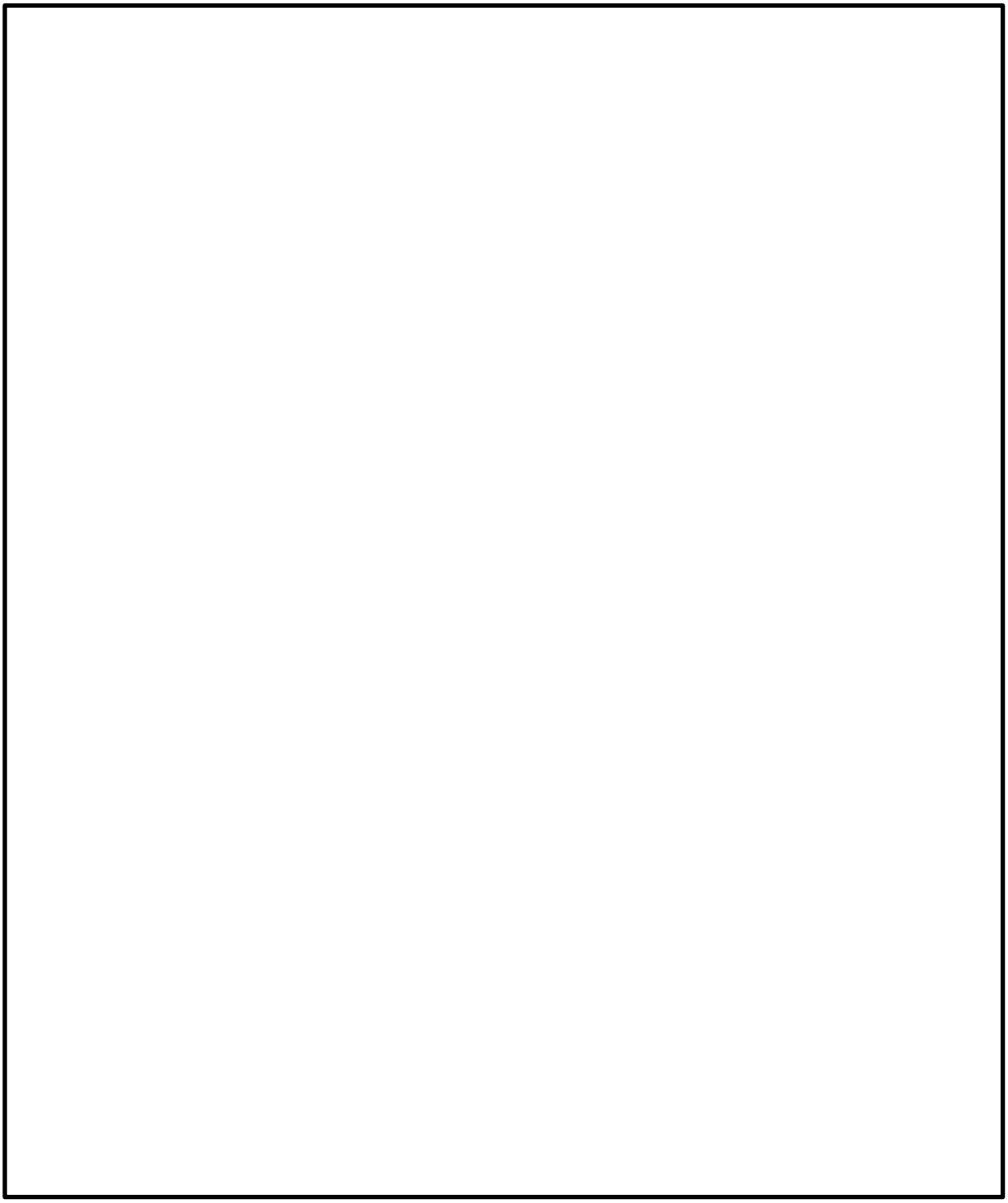


図2-8　原子炉建屋の竜巻の影響に対する防護機能を期待する扉の位置図（EL. 8.2m）

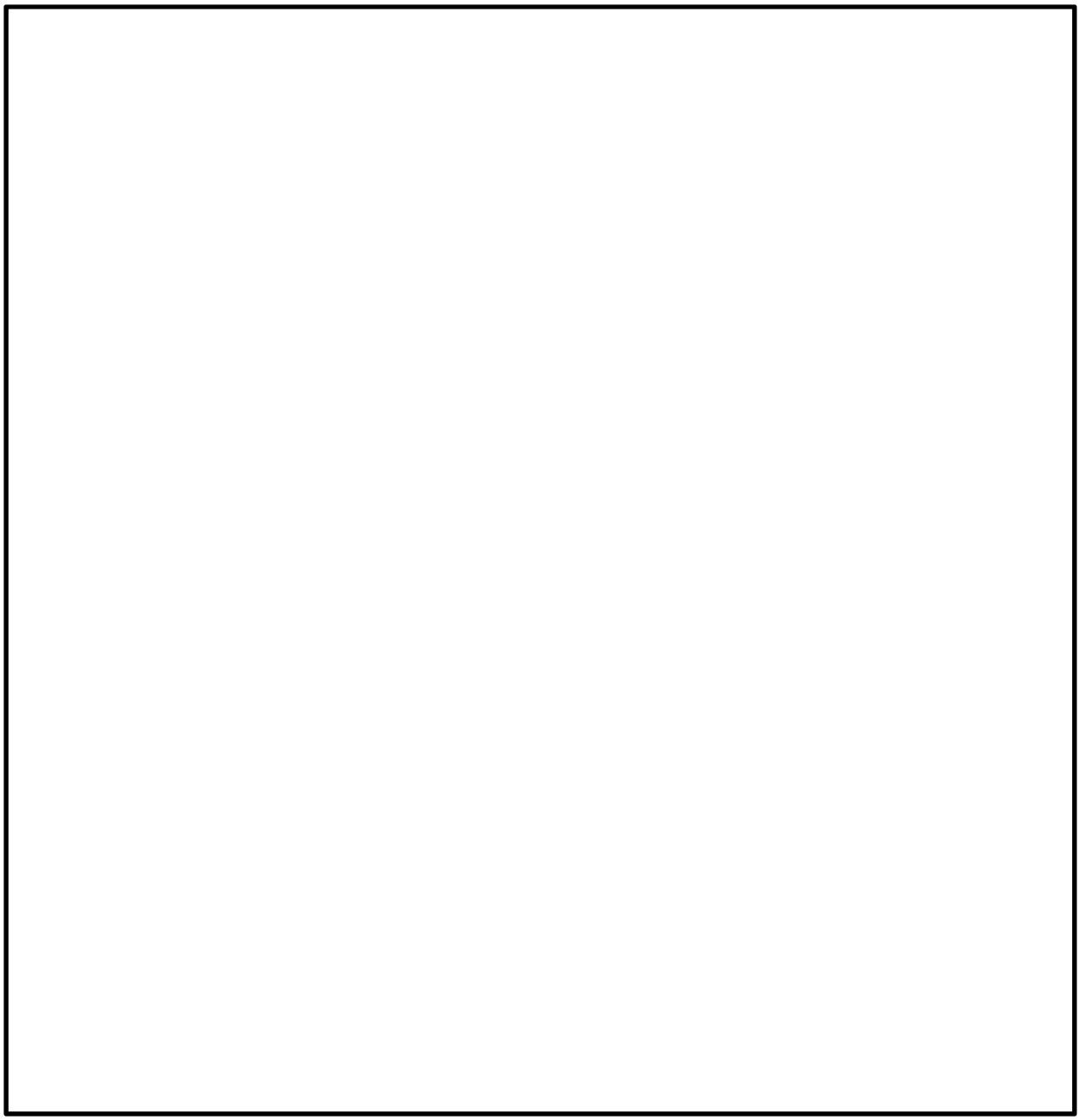


図2-9　原子炉建屋の竜巻の影響に対する防護機能を期待する扉の位置図（EL. 14.0m）

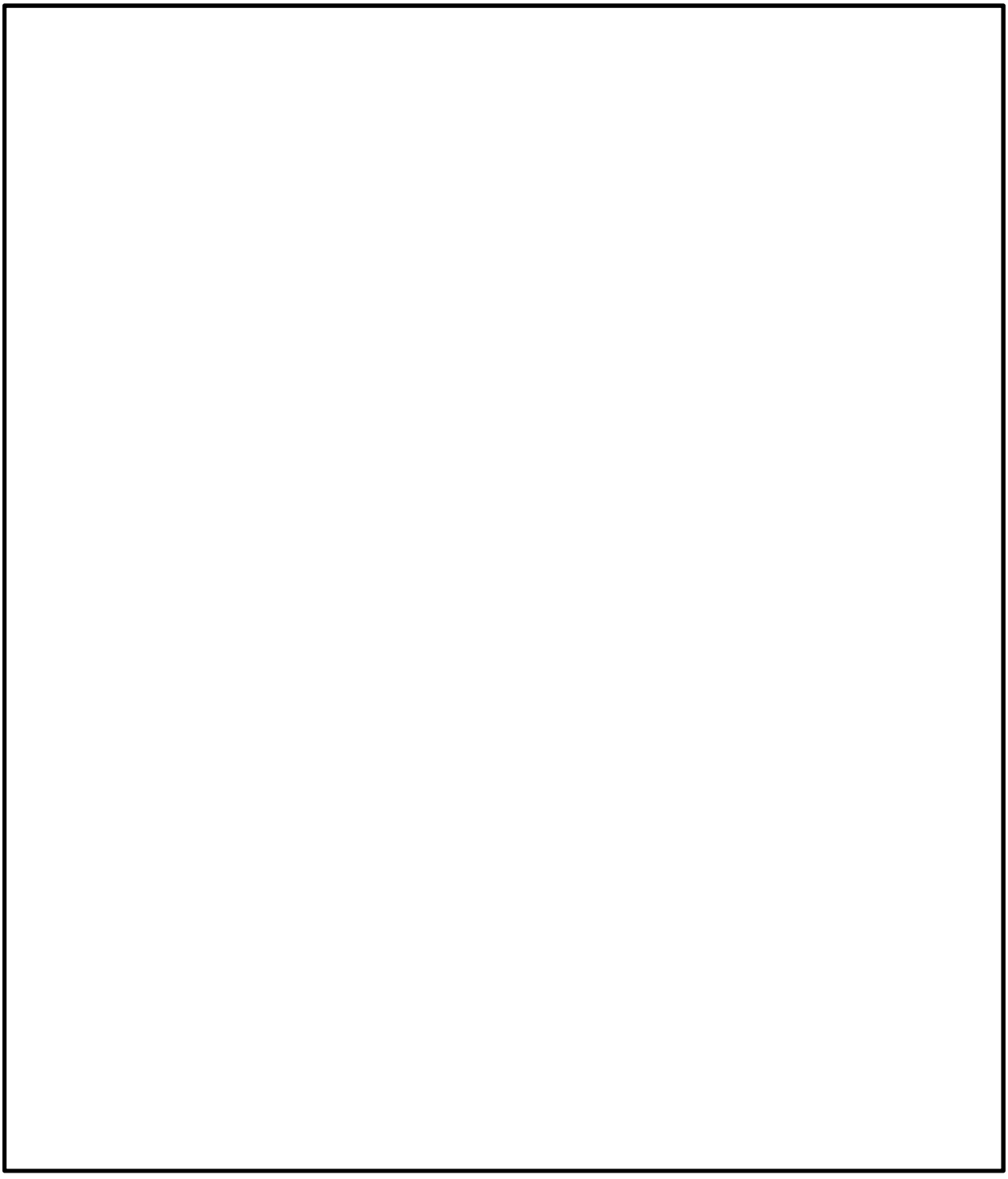


図2-10　原子炉建屋の竜巻の影響に対する防護機能を期待する扉の位置図（EL.20.3m, EL.23.0m）

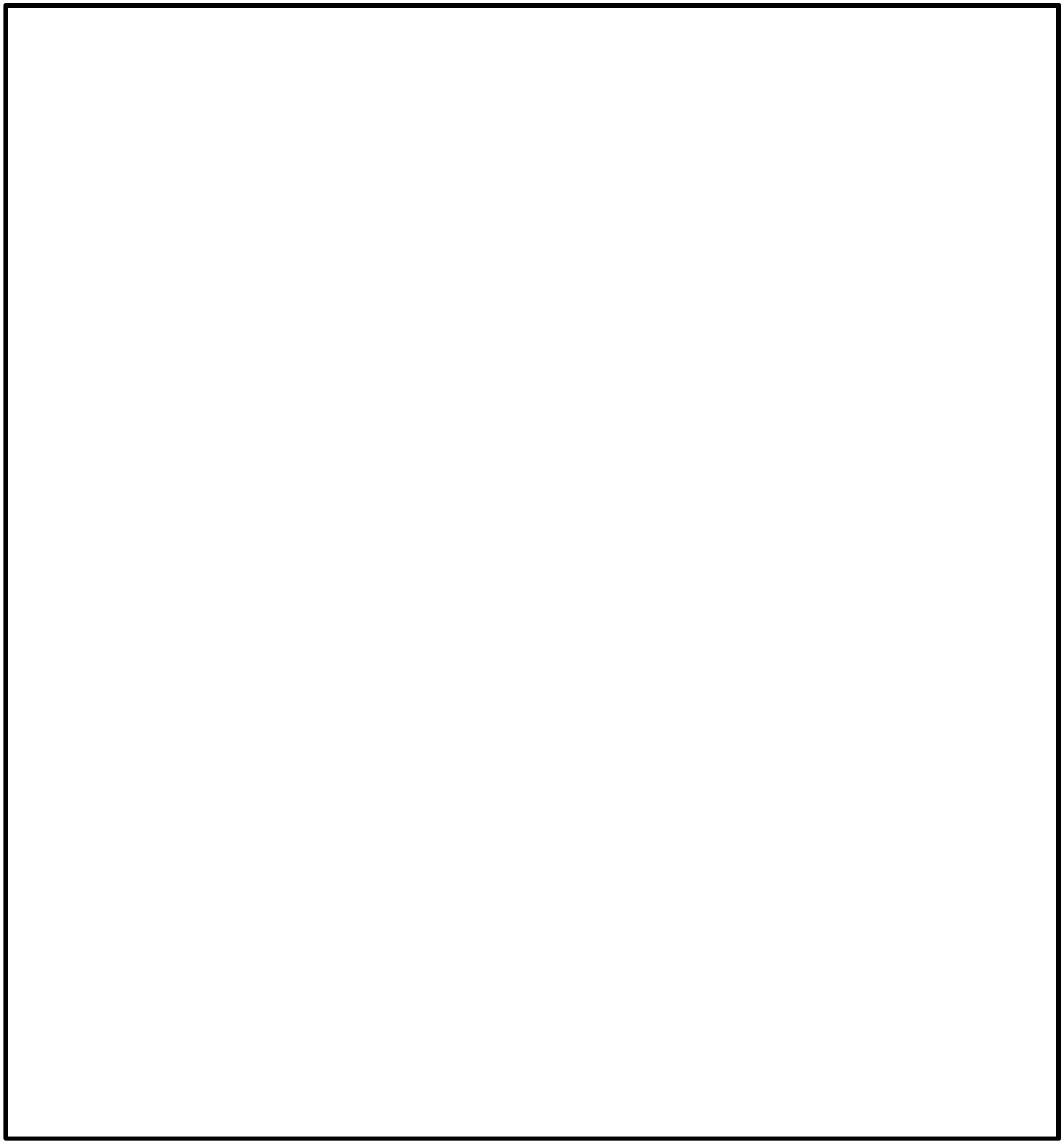
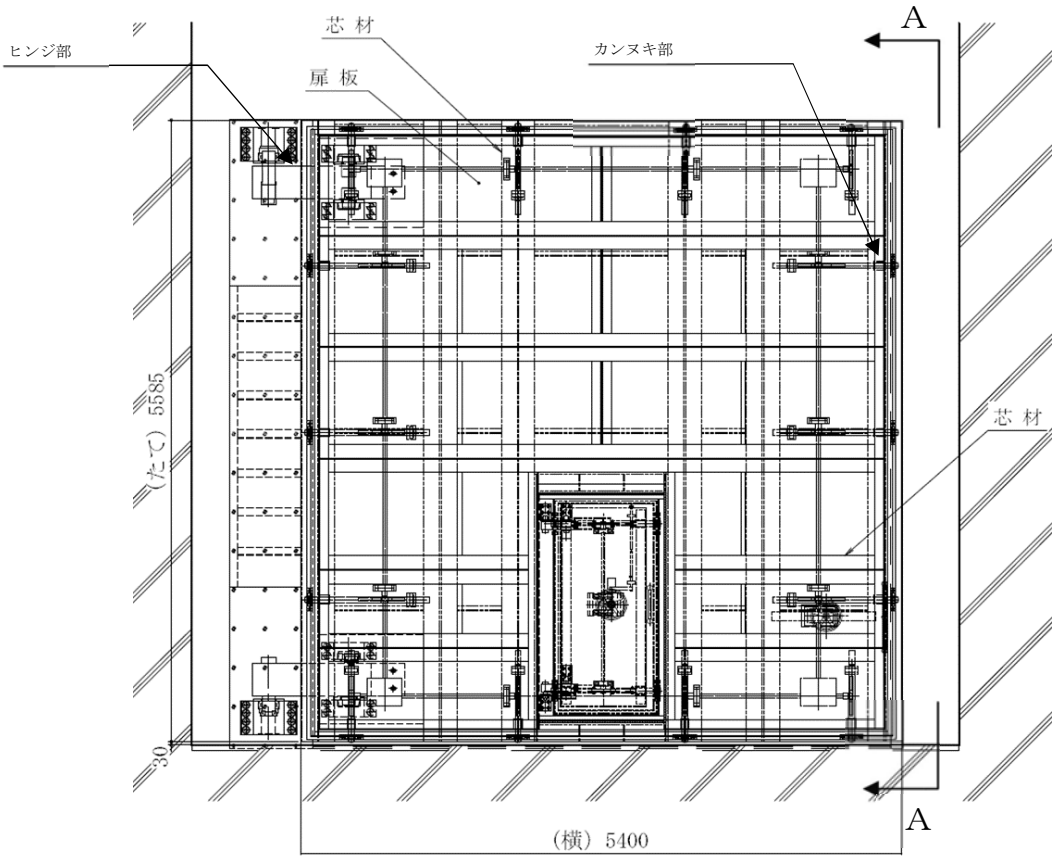
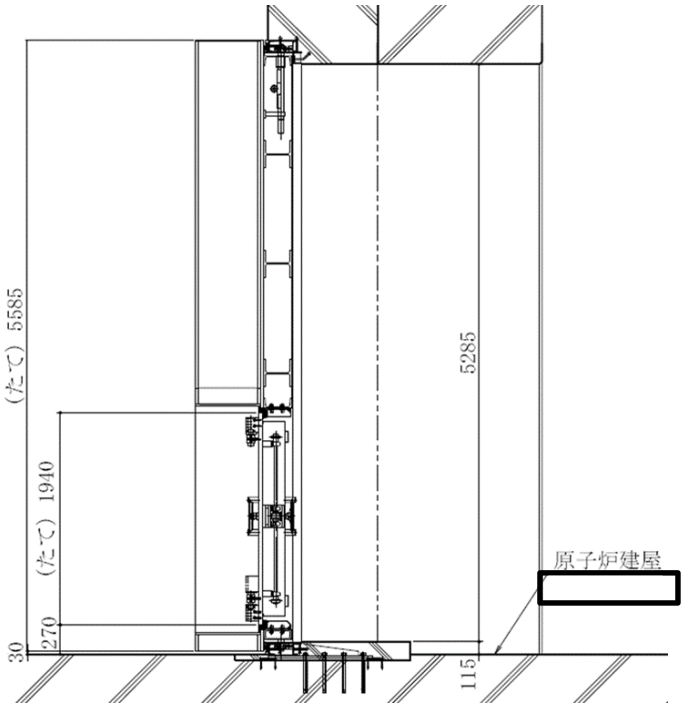


図2-11　原子炉建屋の竜巻の影響に対する防護機能を期待する扉の位置図（EL.29.0m）

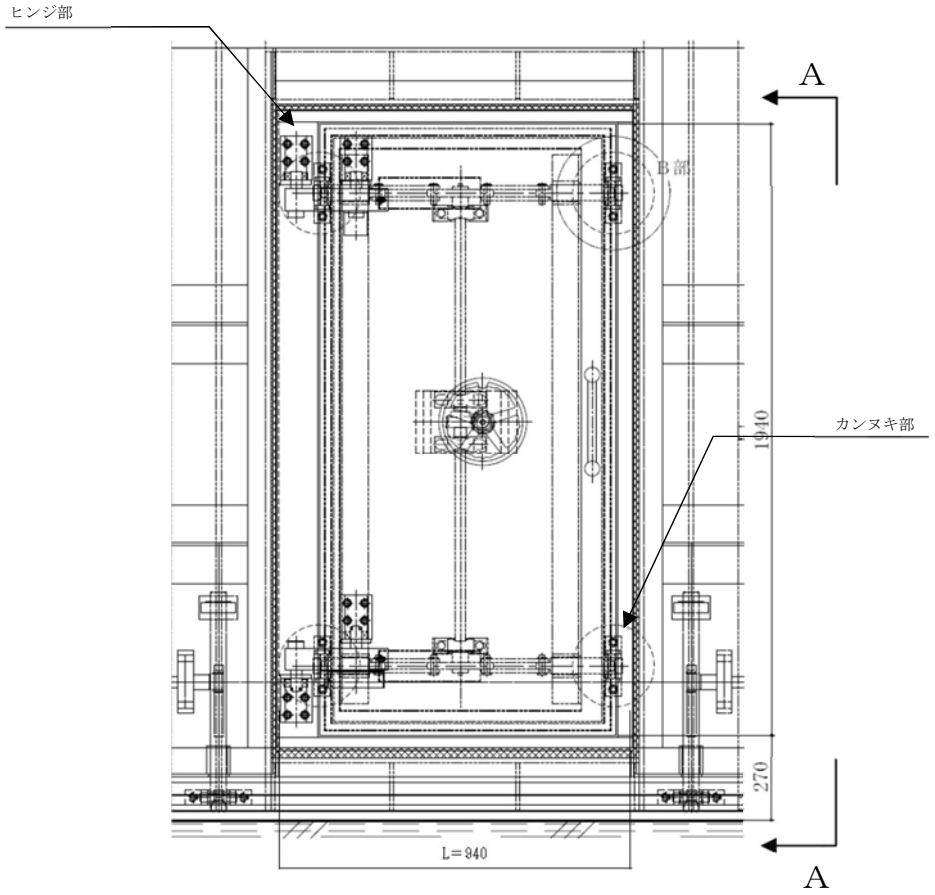


＜扉立面図＞

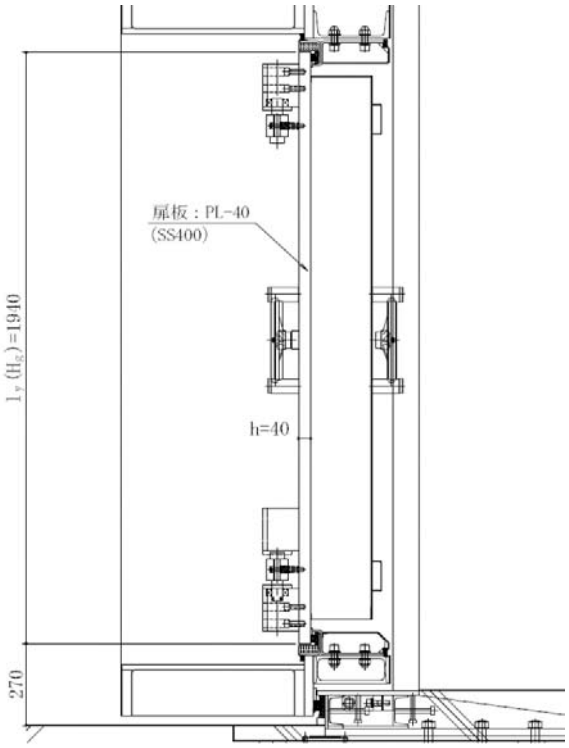


＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-12　原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉の構造図

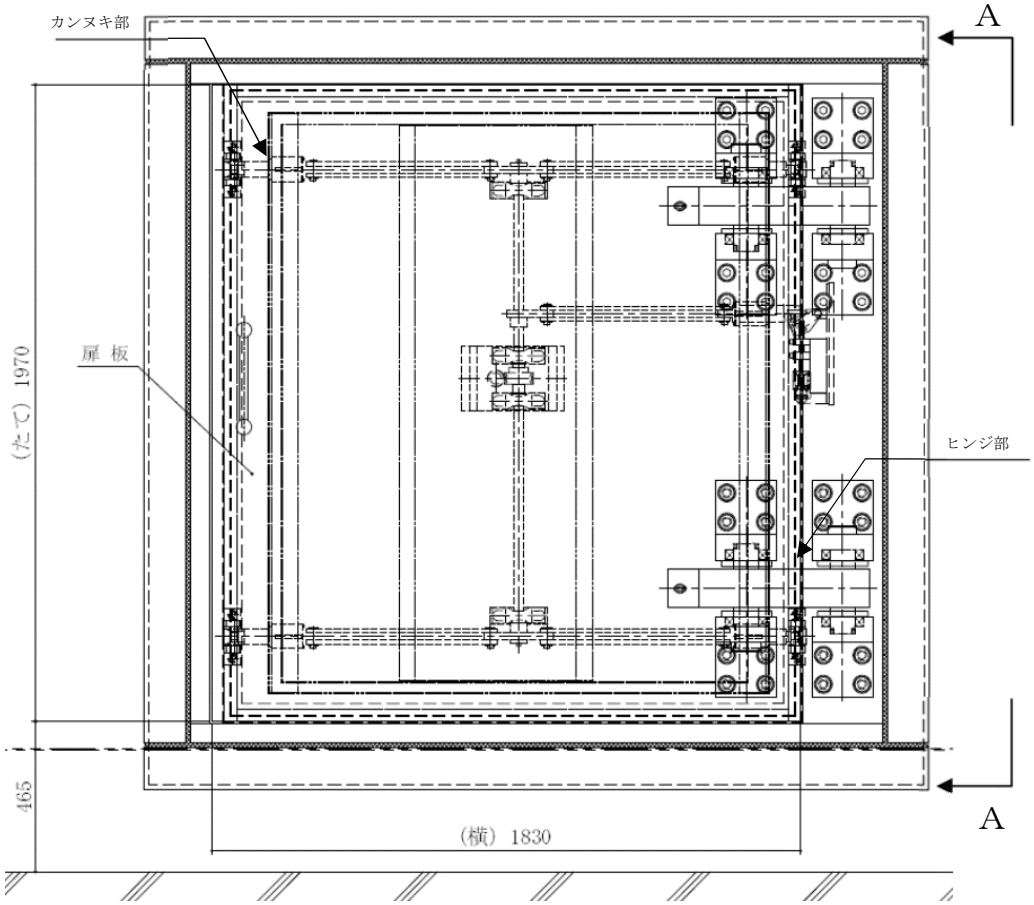


＜扉立面図＞

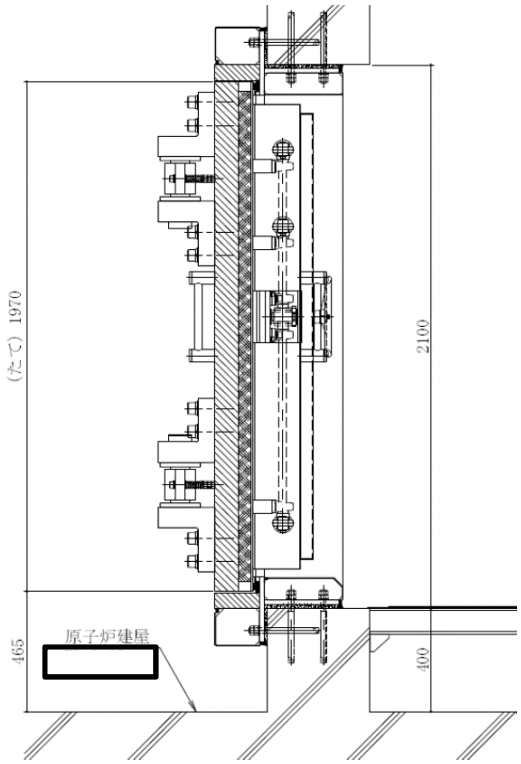


＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-13　原子炉建屋原子炉棟水密扉（潜戸）の構造図

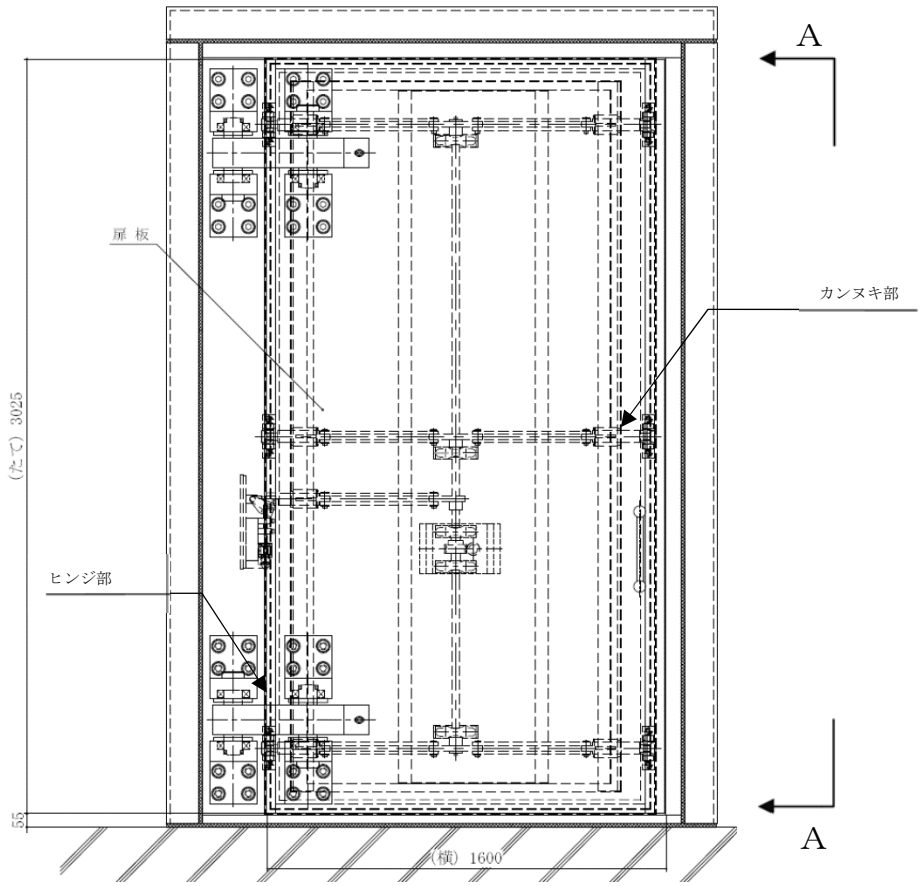


＜扉立面図＞

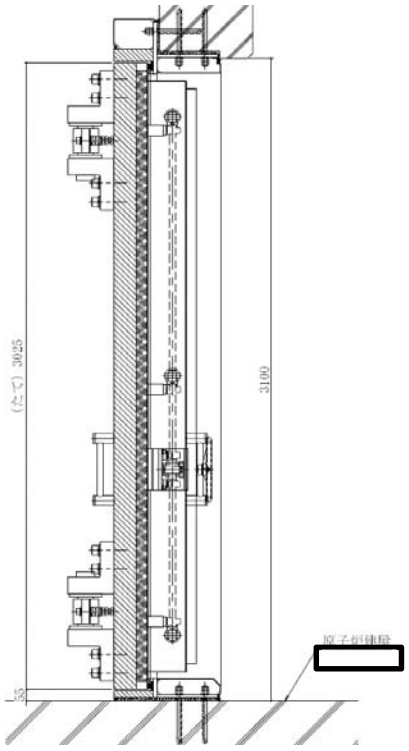


＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-14　原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉の構造図

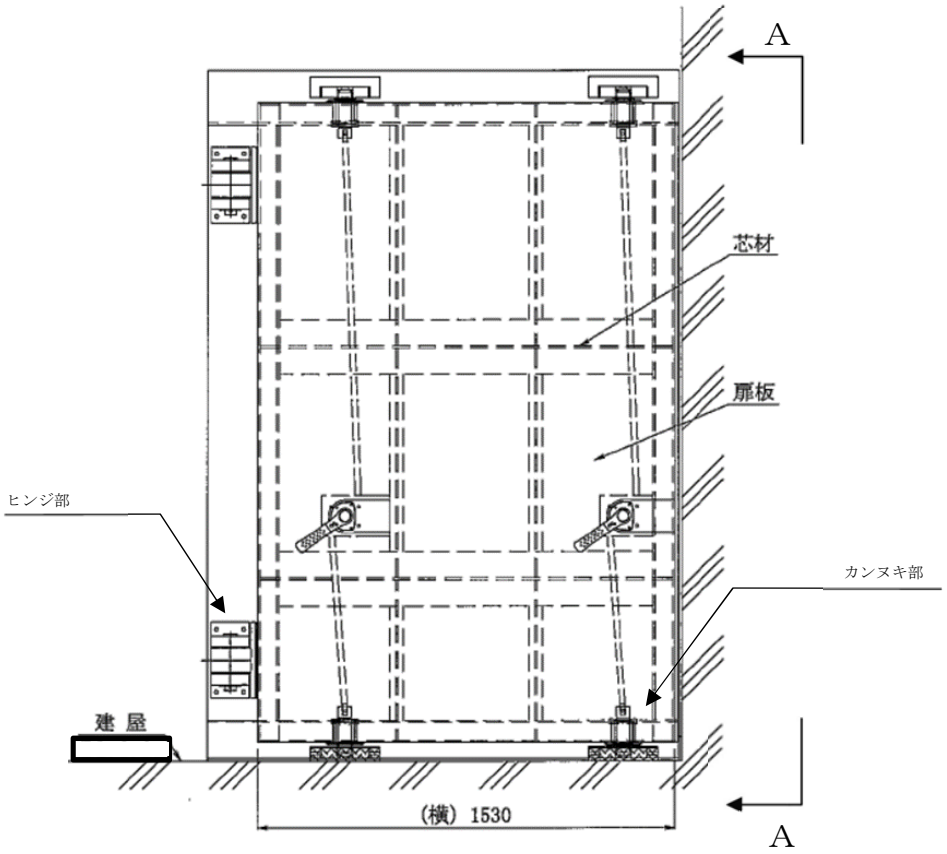


＜扉立面図＞

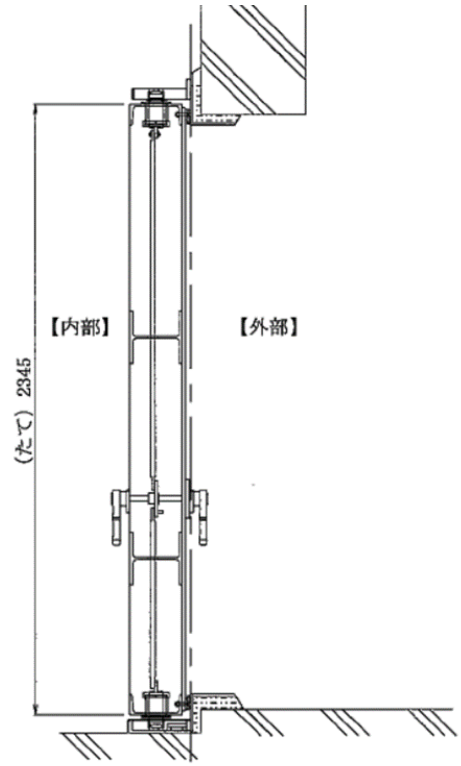


＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-15　原子炉建屋付属棟1階東側水密扉の構造図

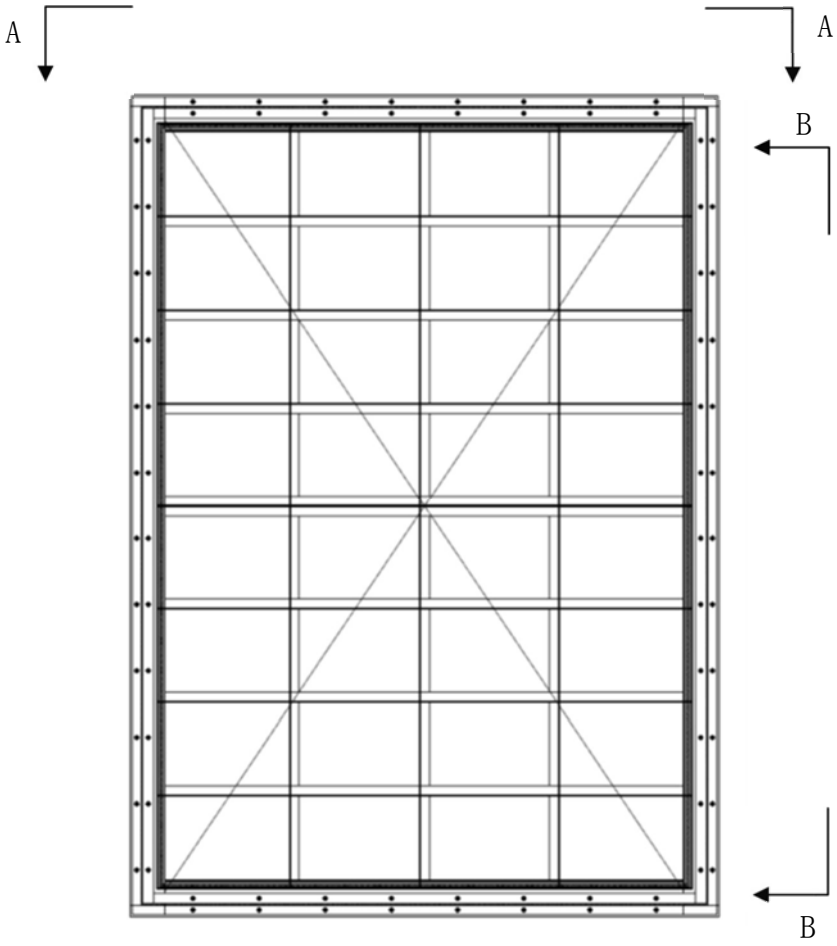


＜扉立面図＞

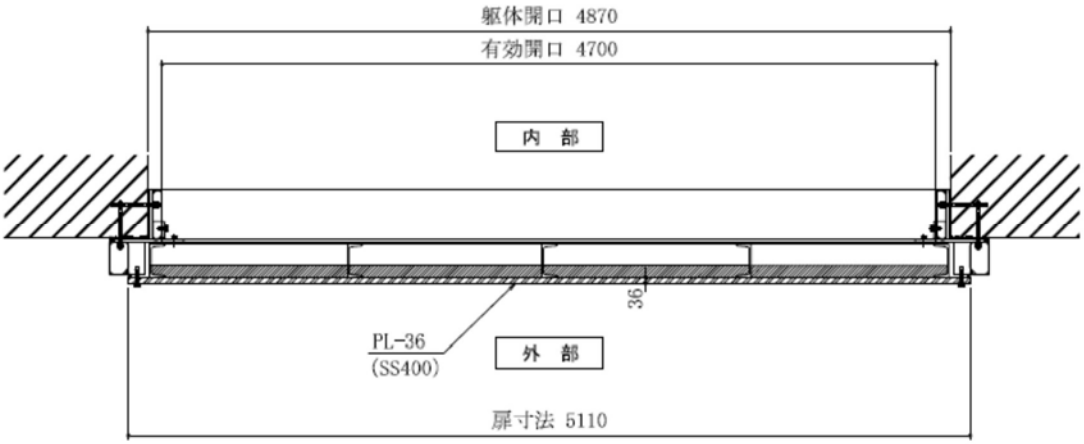


＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-16　原子炉建屋付属棟1階南側水密扉の構造図

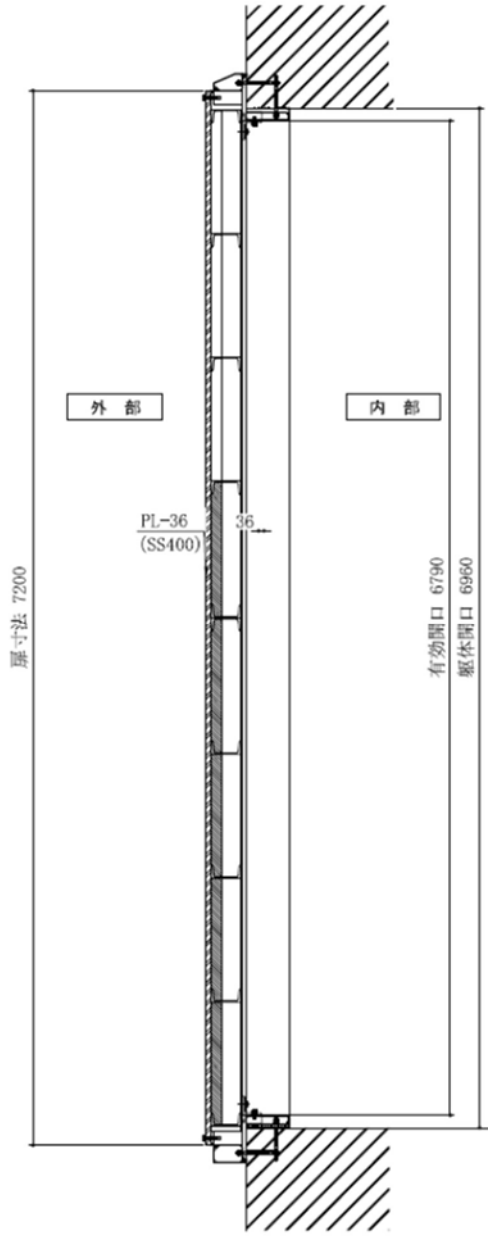


＜扉立面図＞



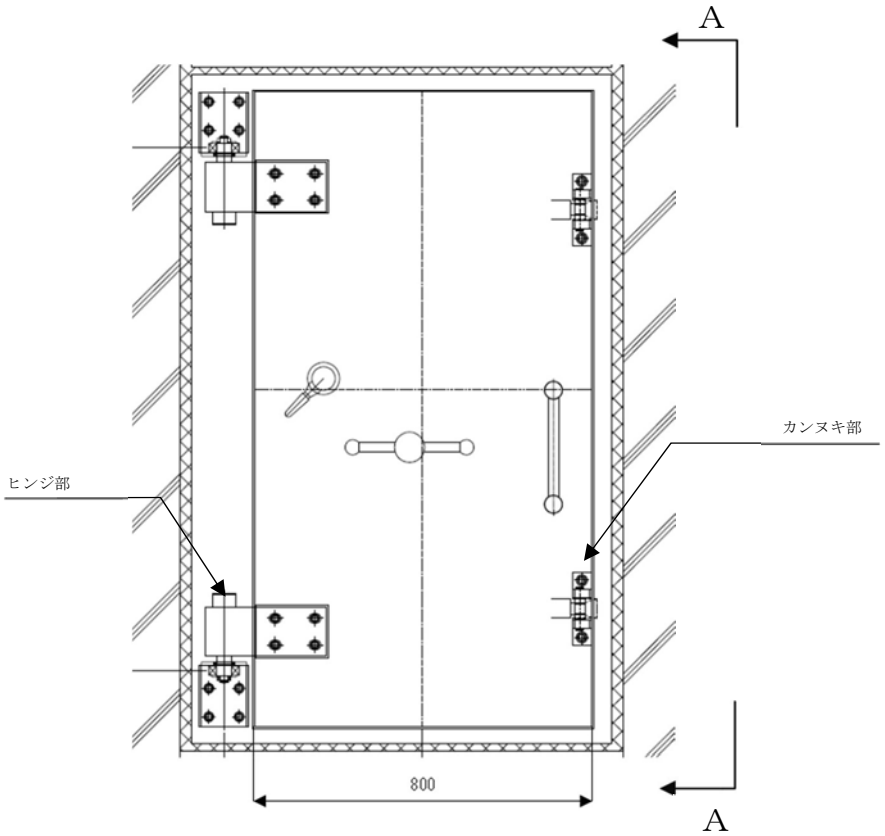
＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-17　原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉の構造図（1/2）

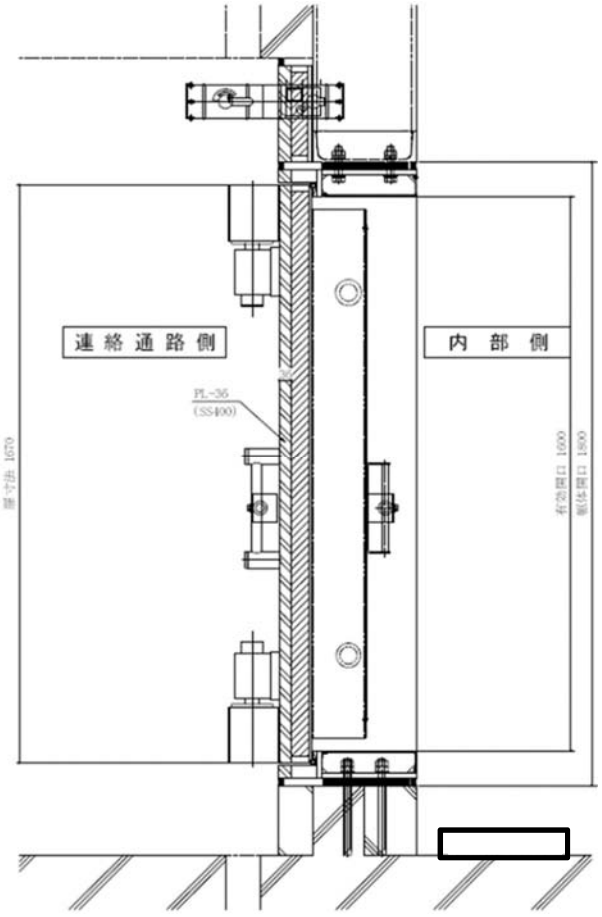


＜Ｂ－Ｂ矢視＞

図2-17　原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉の構造図（2/2）

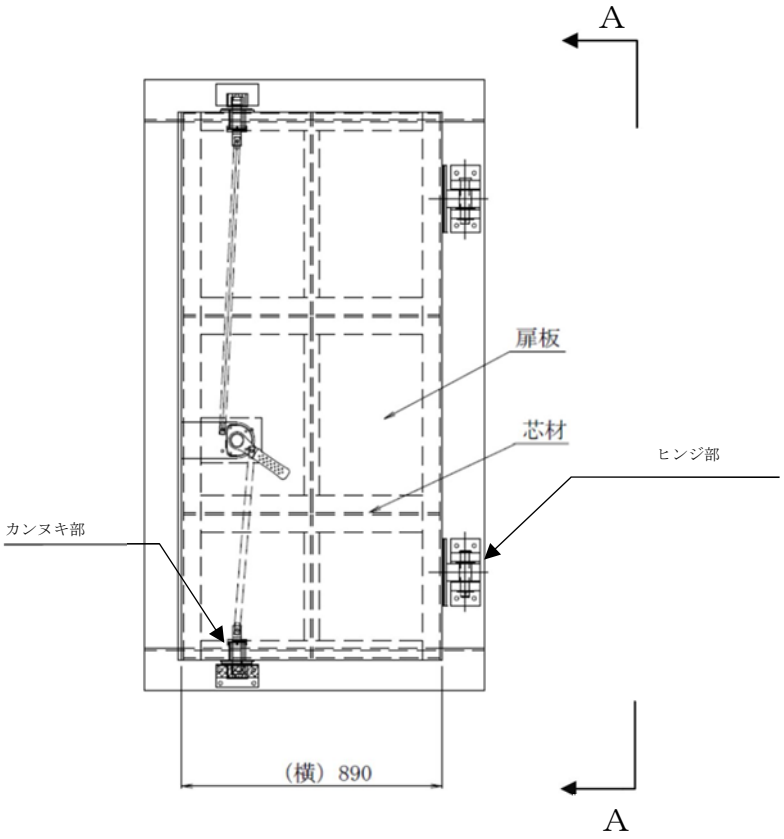


＜扉立面図＞

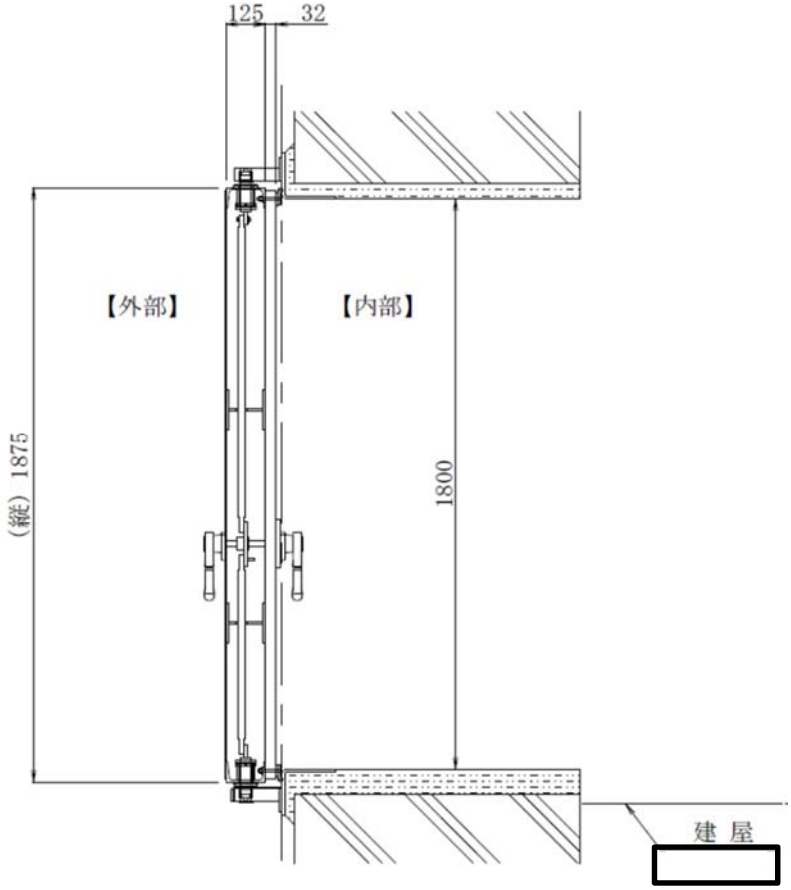


＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-18　原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉及び原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉の構造図

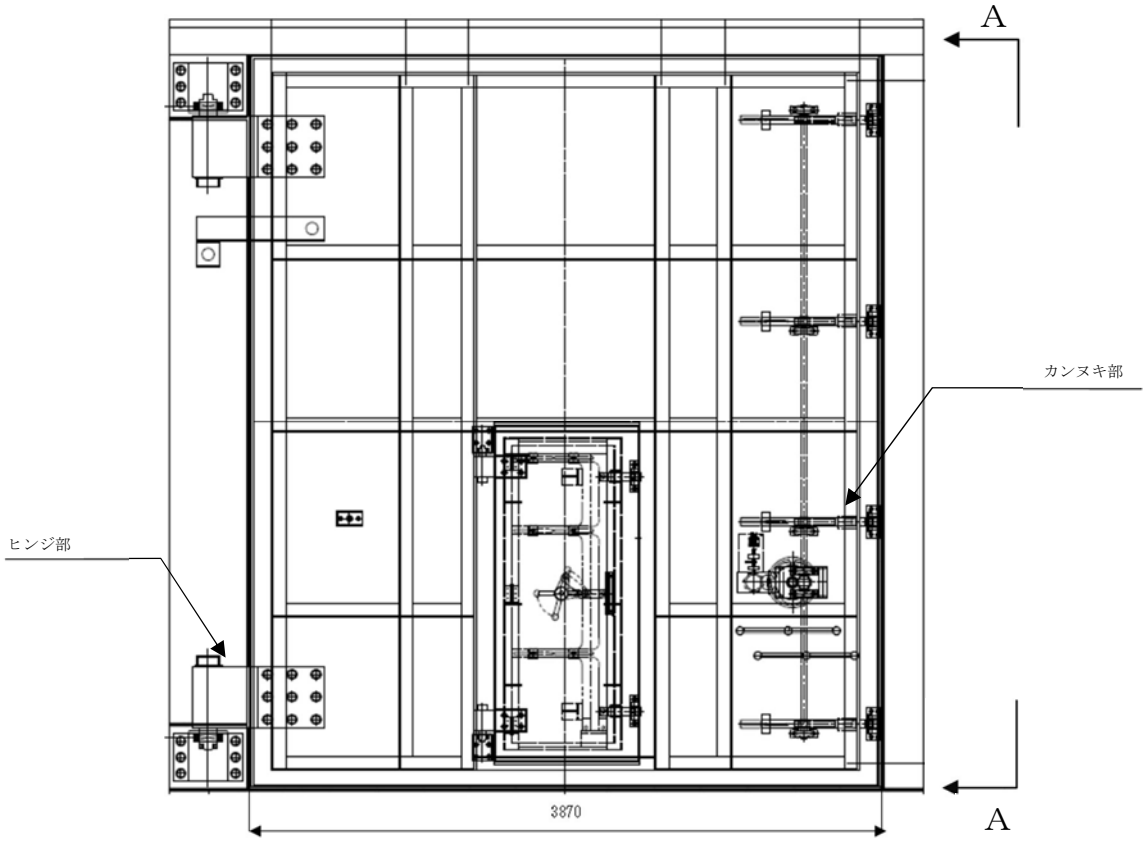


＜扉立面図＞

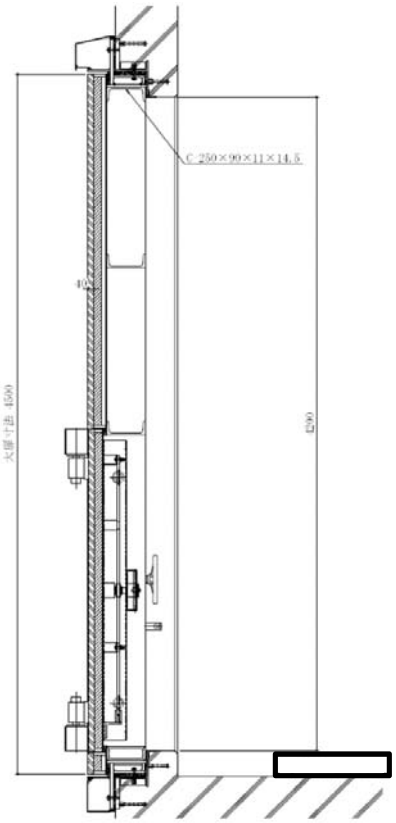


＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-19　原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉の構造図

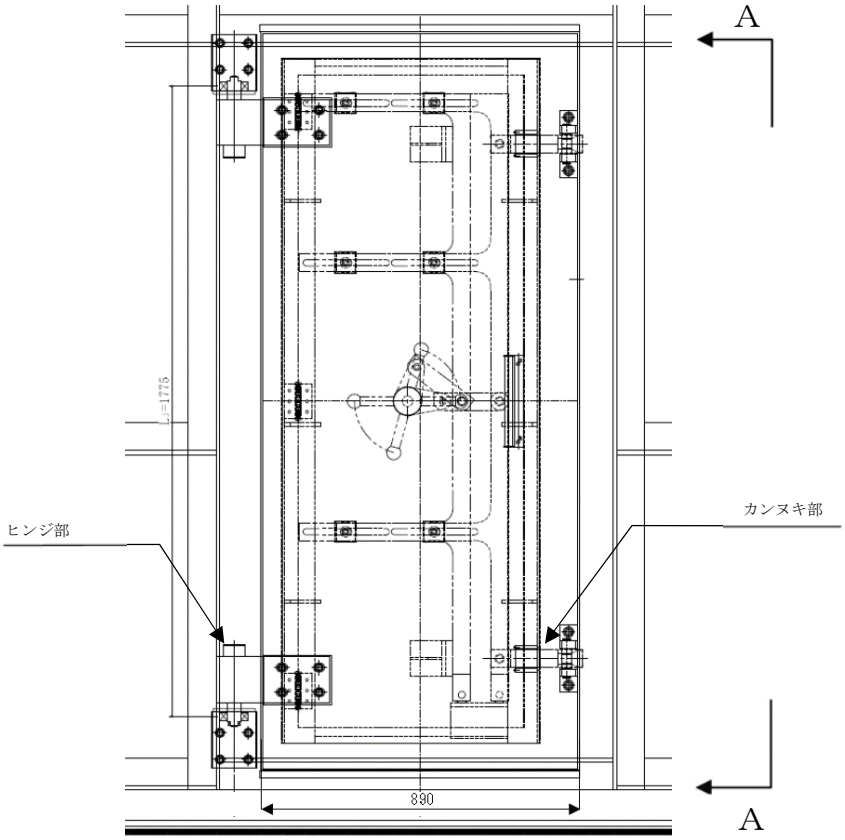


＜扉立面図＞

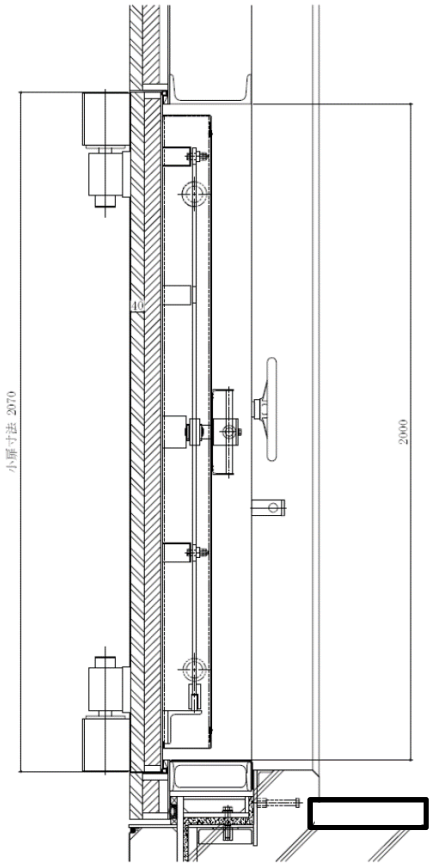


＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-20　空調機械室搬入口扉の構造図

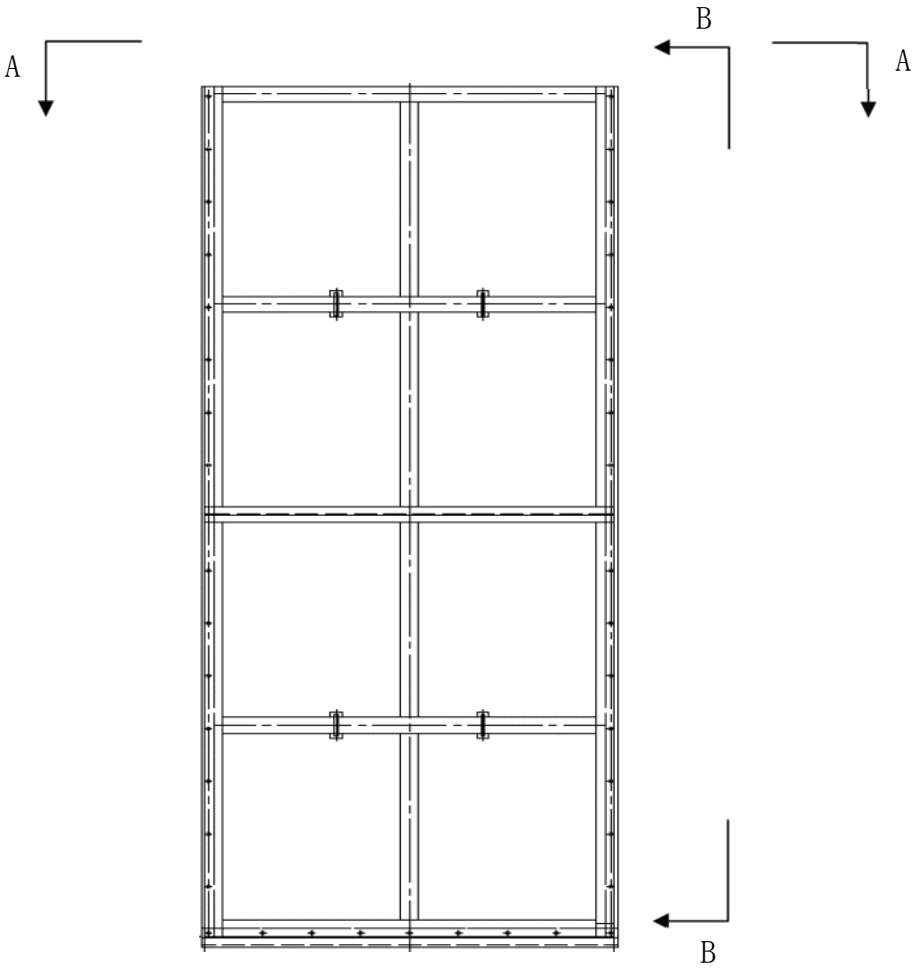


＜扉立面図＞

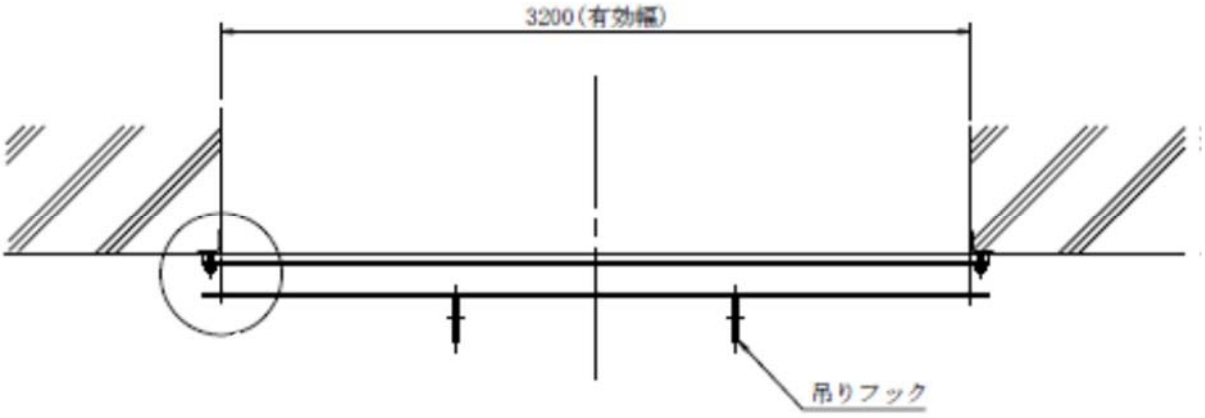


＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-21　空調機械室搬入口扉（潜戸）の構造図

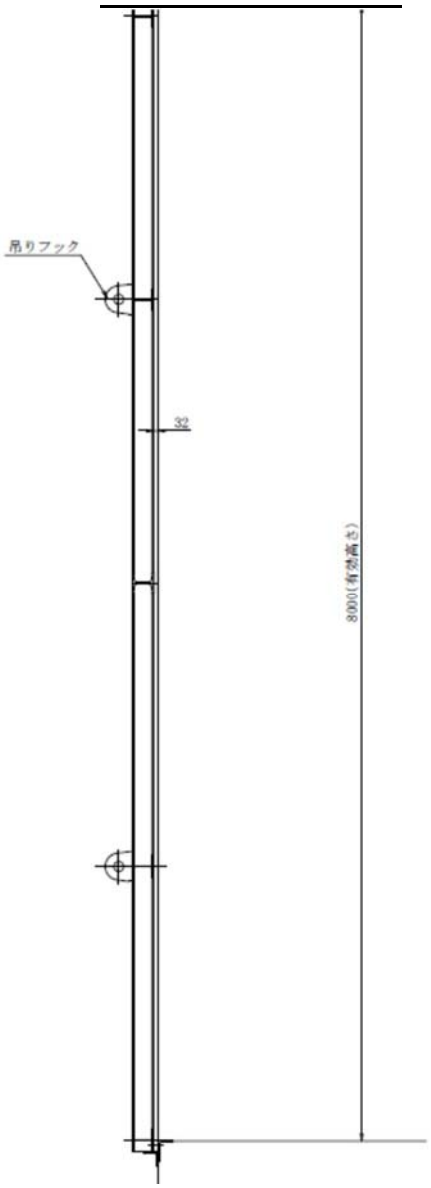


＜扉立面図＞



＜Ａ－Ａ矢視＞

図2-22　原子炉付属棟4階南東側機器搬入口扉の構造図（1/2）



＜Ｂ－Ｂ矢視＞

図2-22　原子炉付属棟4階南東側機器搬入口扉の構造図（2/2）

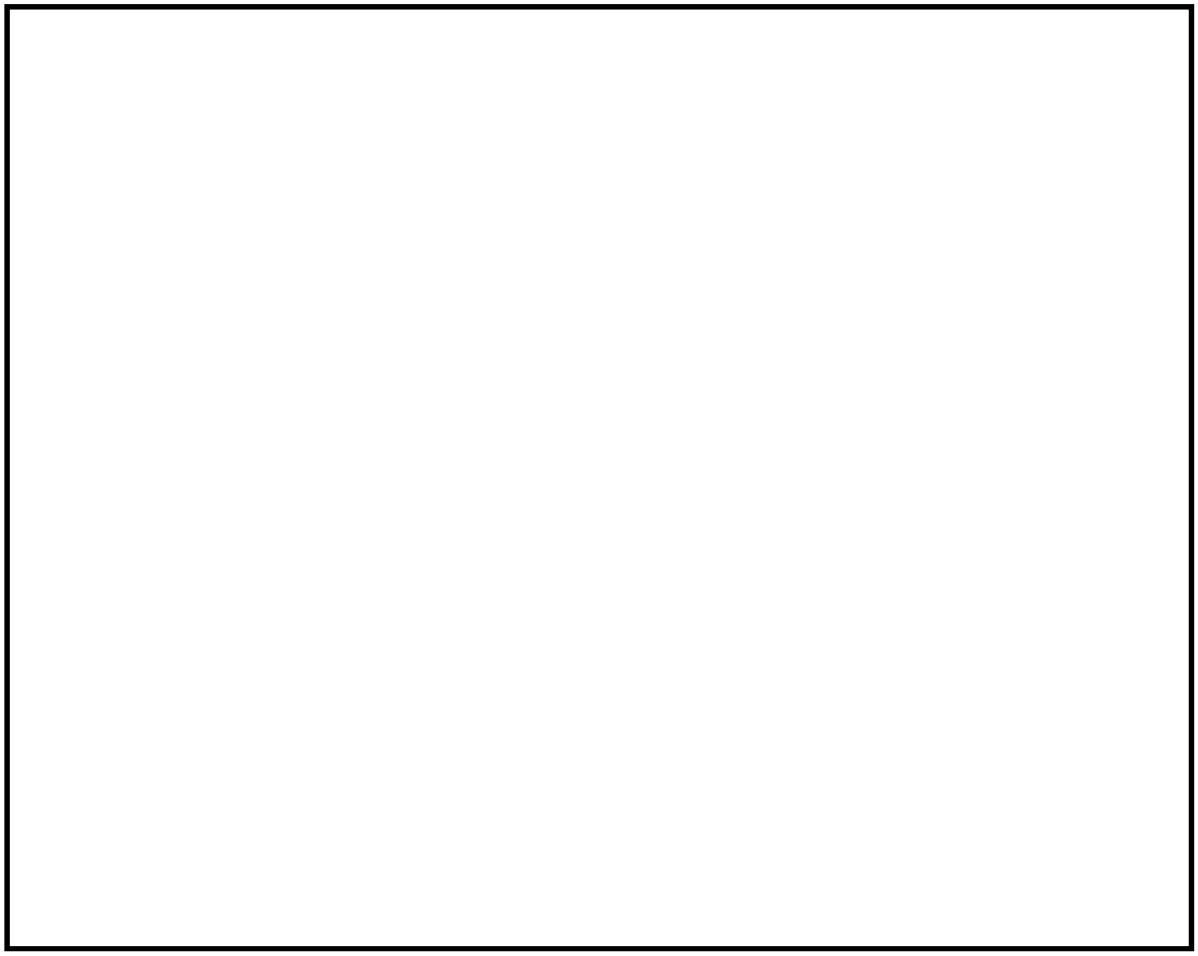


図 2-23　タービン建屋の概略平面図

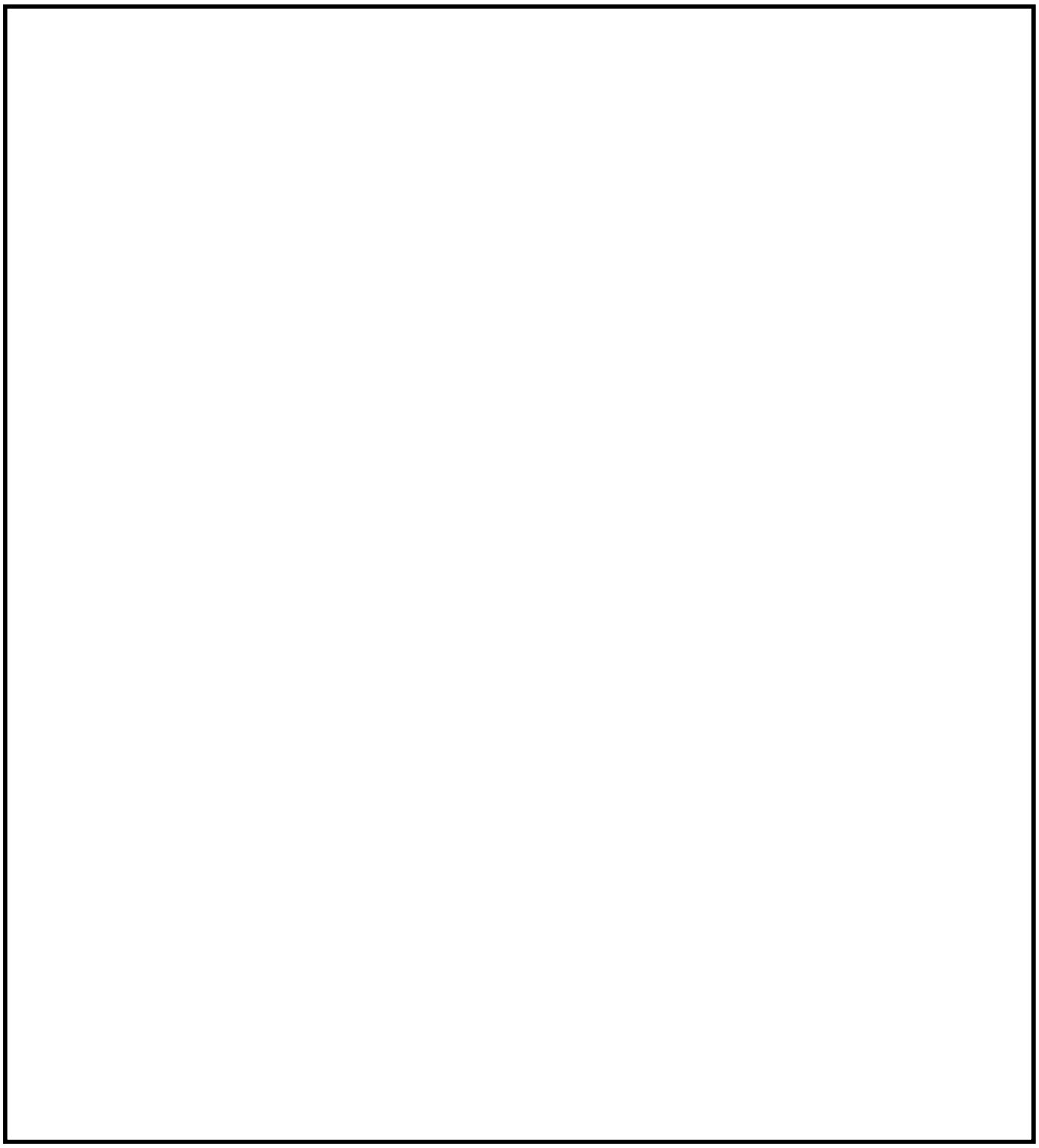


図 2-24　タービン建屋の概略断面図

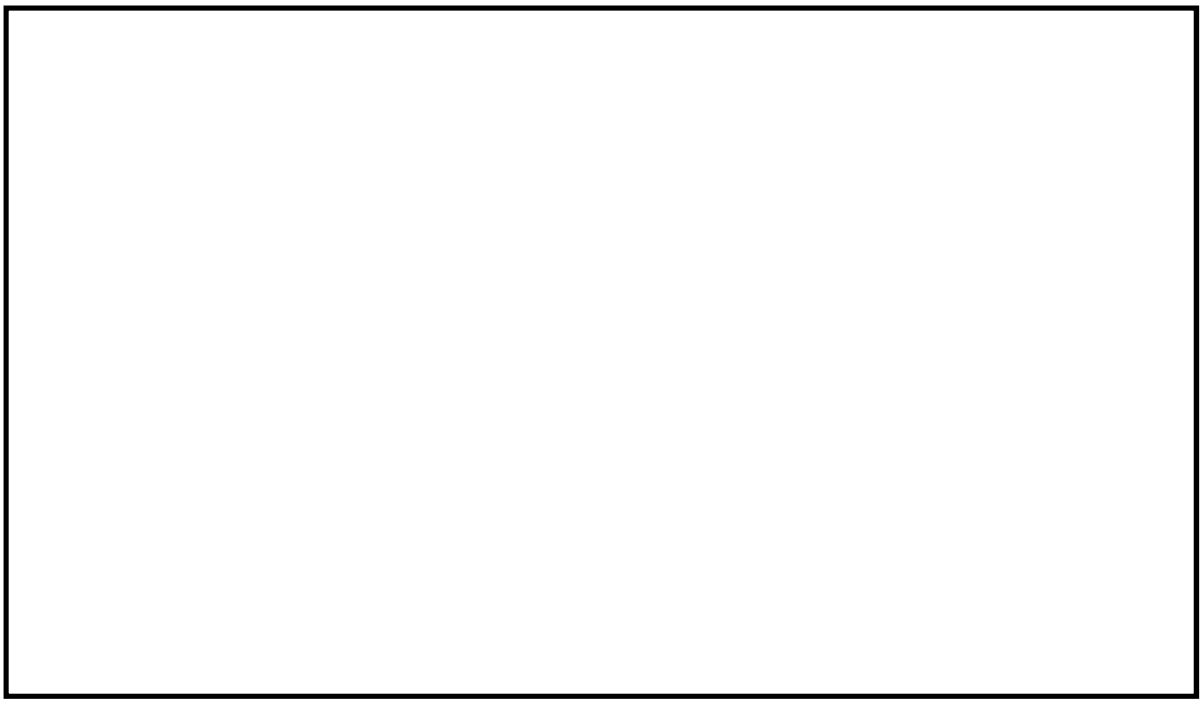


図 2-25　使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図

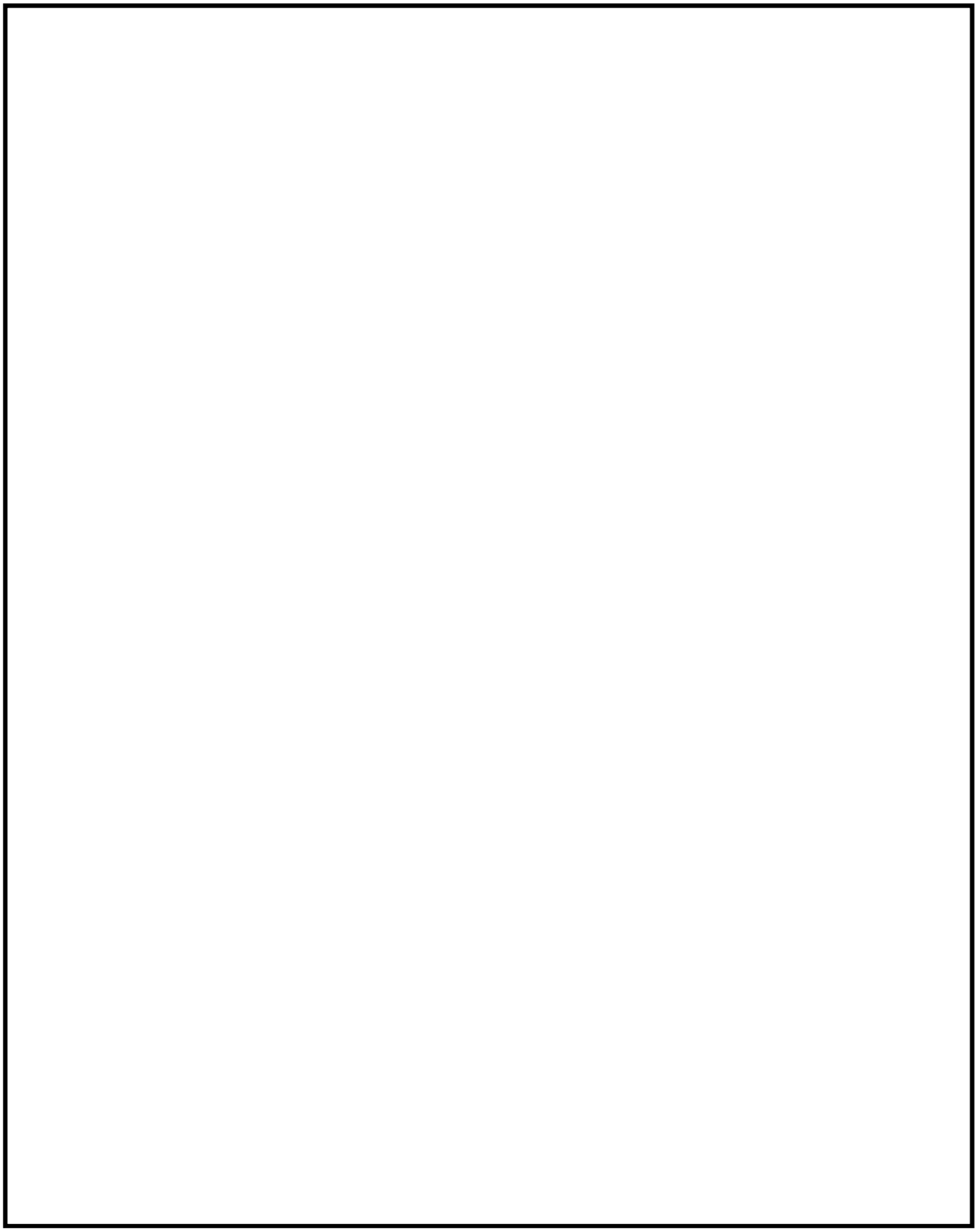


図 2-26　使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図

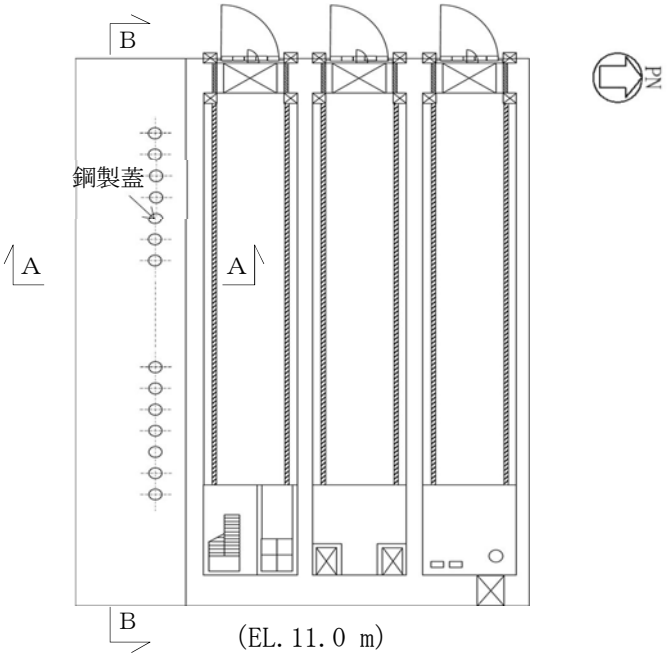


図2-27　軽油貯蔵タンクタンク室の概略平面図

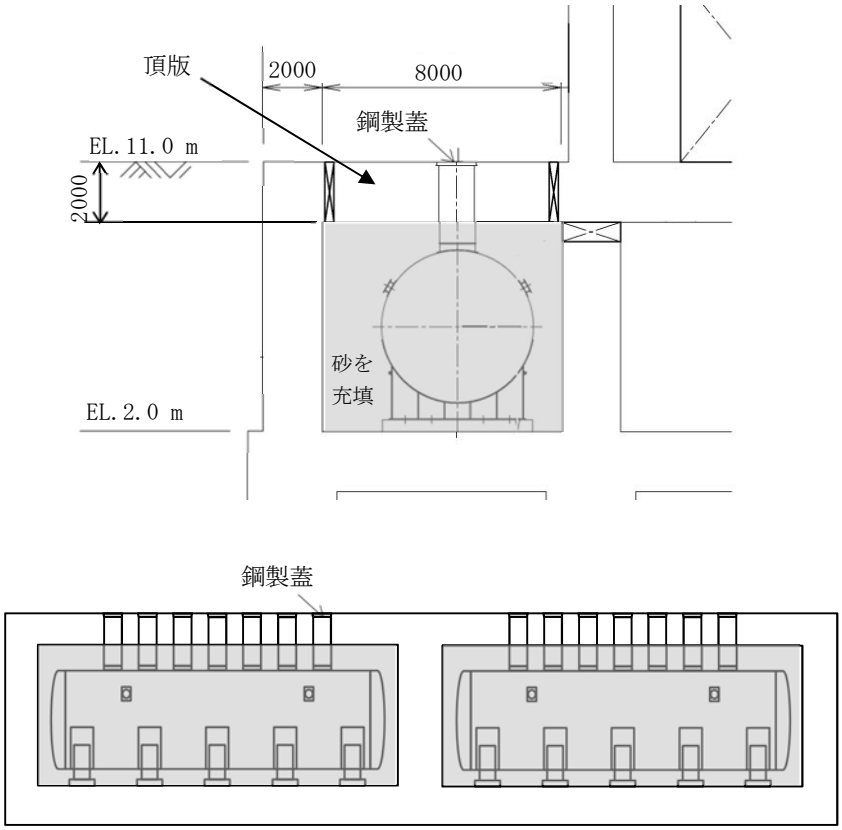
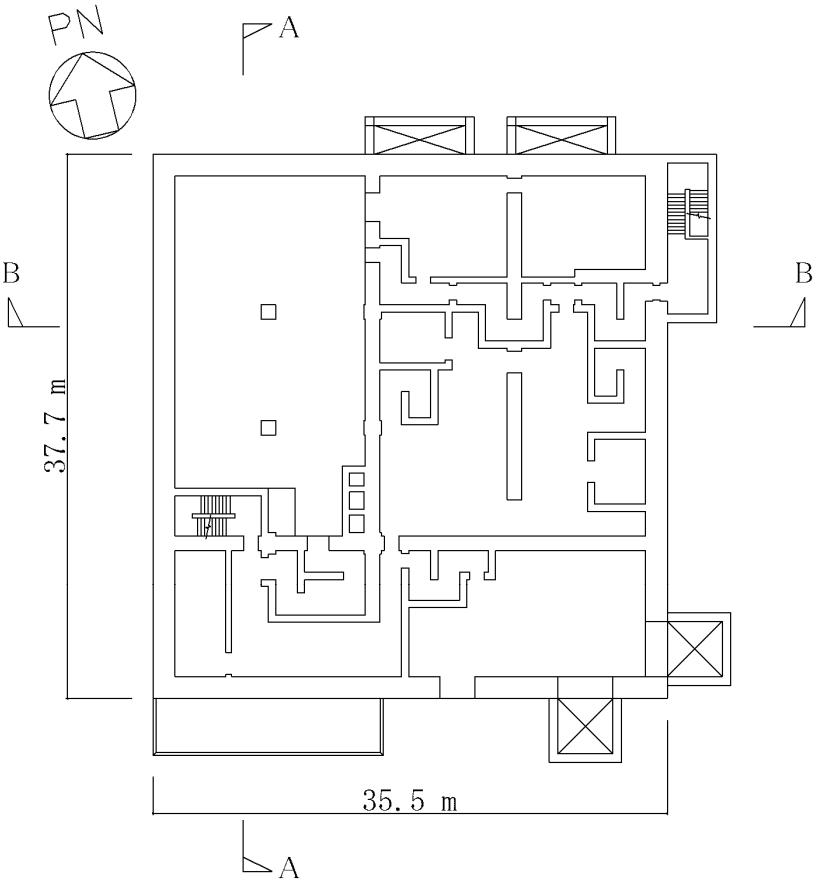
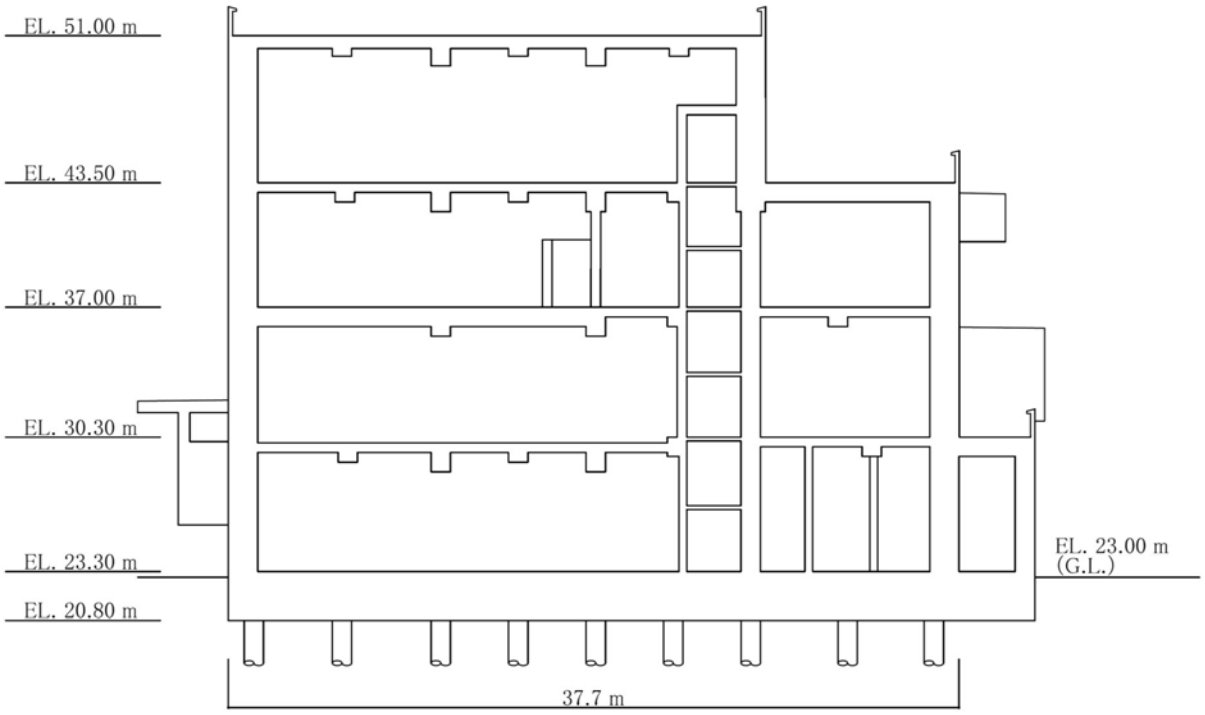


図2-28　軽油貯蔵タンクタンク室の概略断面図

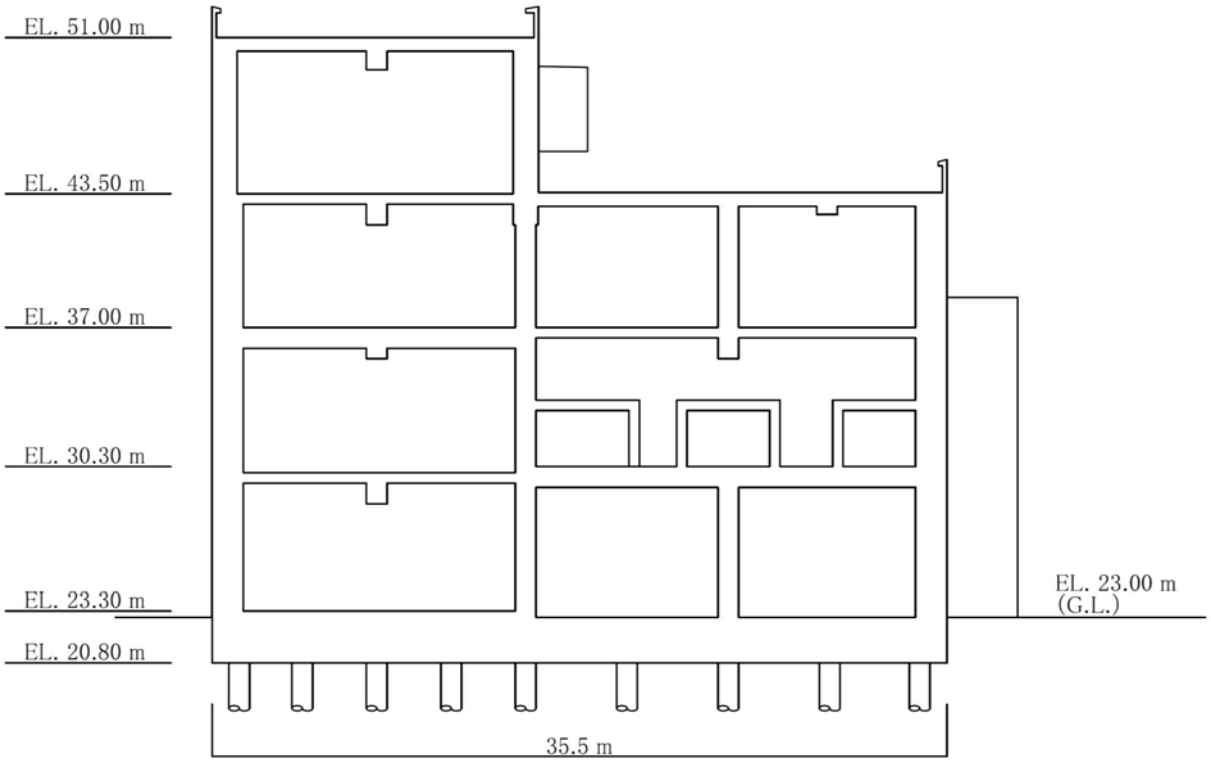


(2階平面図：EL.30.3 m)

図2-29　緊急時対策所建屋の概略平面図



（NS方向，A－A断面）



（EW 方向，B－B 断面）

図2-30　緊急時対策所建屋の概略断面図

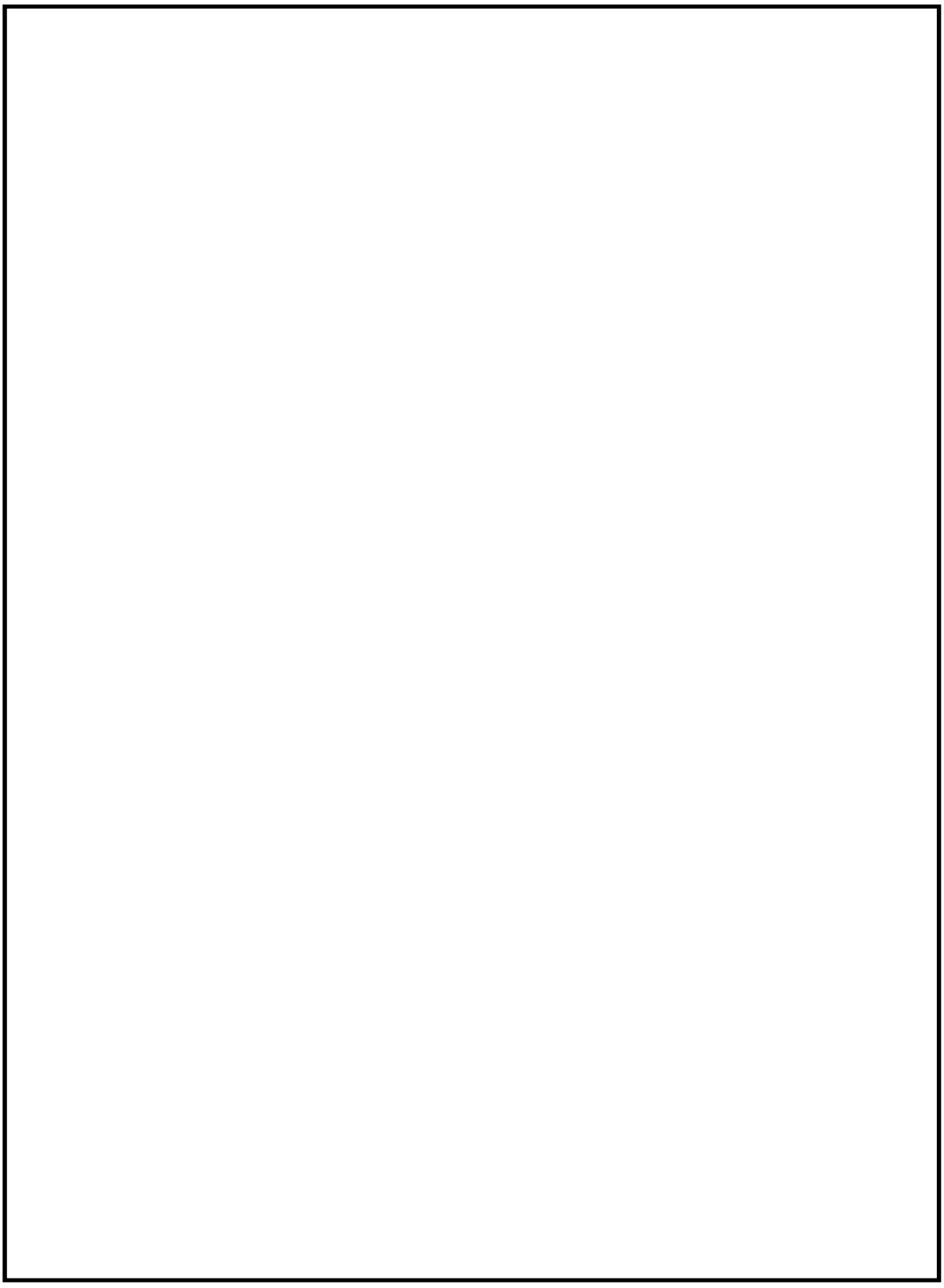


図2-31　廃棄物処理建屋の概略図

2.3　評価方針

建屋及び構造物の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2　許容限界」を踏まえ，竜巻より防護すべき施設が安全機能を損なわないことを，「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

建屋及び構造物の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

具体的には，飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突する直接的な影響の評価として，建屋及び構造物の外殻を構成する部材に対する「衝突評価」を行う。また飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突・接触する波及的な影響の「構造強度評価」として，建屋及び構造物の外殻を構成する部材の裏面剥離による飛散の影響評価（以下「裏面剥離評価」という。）及び建屋及び構造物の外殻を構成する部材の転倒及び脱落並びに建屋及び構造物の変形の影響評価（以下「変形評価」という。）を行う。

2.3.1　衝突評価

飛来物が建屋及び構造物の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために，飛来物による衝撃荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材が飛来物の貫通を生じないことを計算又は解析により確認する。

具体的には，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる区画の屋根，外壁及び内壁並びに開口部建具並びに構造物の地上露出部が，飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを，計算により確認する。最少厚さ以上であることの確認が出来ない場合においては，当該部材が飛来物の運動エネルギを吸収できることを計算により確認する，若しくはこれらに終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。

2.3.2　裏面剥離評価

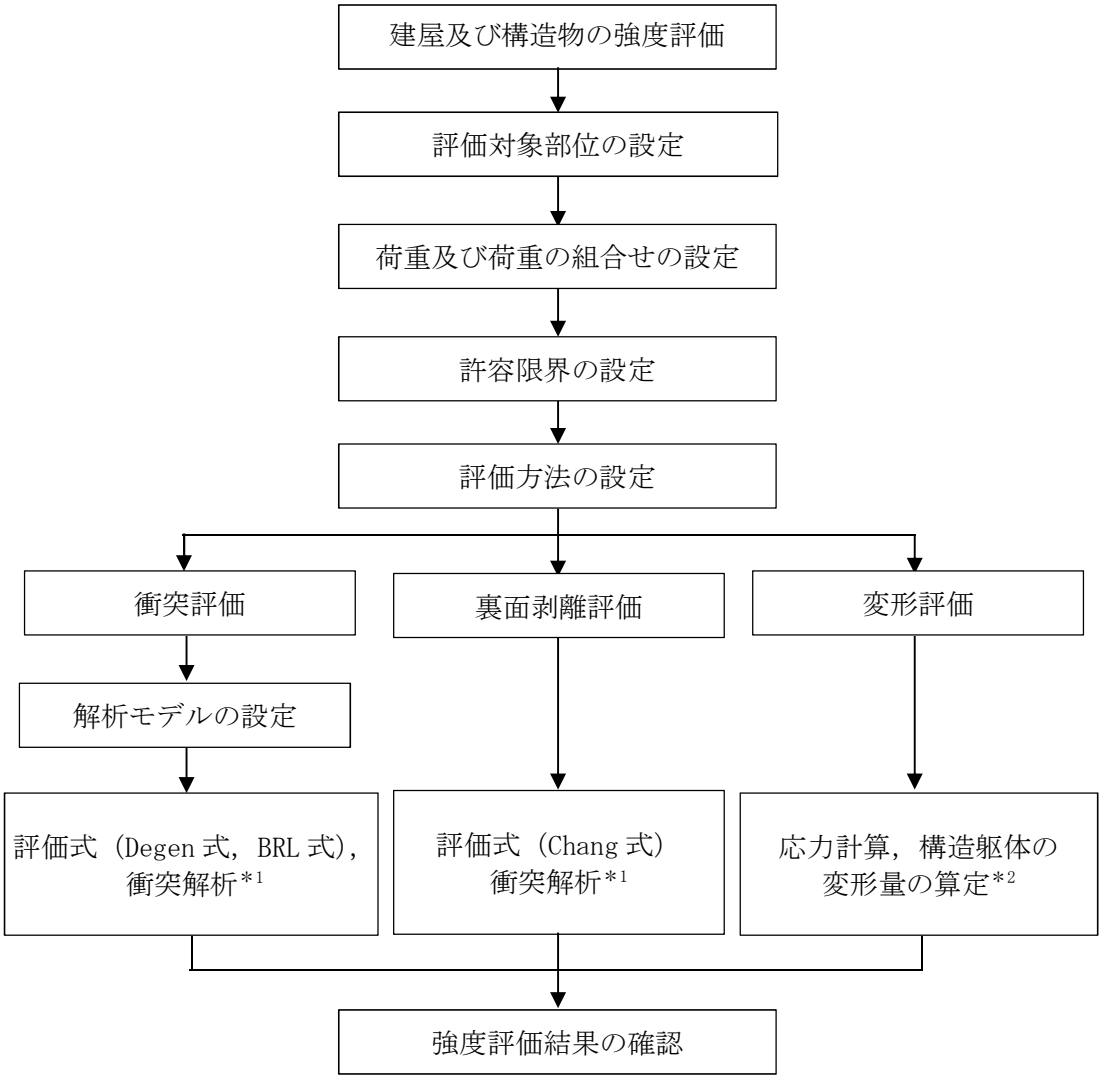
飛来物による衝撃荷重に対し，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないよう，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために，これらについて，裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じないことを計算により確認する。

具体的には，ＲＣ造の建屋及び構造物について，飛来物による衝撃荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために，外殻となる屋根スラブ，外壁及び内壁並びに構造物の鉄筋コンクリートが，裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。最小厚さ以上であることの確認ができない場合は，裏面剥離が生じない構造であることを解析により確認する。

2.3.3　変形評価

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落並びに竜巻より防護すべき施設を内包する施設の変形により竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えない設計とするために，設計荷重に対し，外殻となる屋根スラブ，屋根スラブのスタッド，外壁及び内壁に終局状態に至るようなひずみ又は応力が生じないこと，鉄骨架構に終局状態に至るような応力が生じないことを計算及び解析により確認する。

建屋及び構造物の設計荷重作用時の強度評価フローを図2-21に示す。



注記　＊1：3 次元ＦＥＭモデルを用いた動的評価を実施する。

＊2：地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。

図2-21　強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-　（（社）日本建築学会，2005改定）
・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev 8P(NEI07-13))（以下「ＮＥＩ07-13」という。）
・建築基準法及び同施行令
・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004改定）
・ISES7607-3「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」（高温構造安全技術研究組合）
・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）（以下「ＲＣ規準」という。）
・「コンクリート標準示方書　設計編」((社）土木学会，2007 改定）
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）*
・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会）*
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）*
・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（社）日本機械学会
・日本工業規格（ＪＩＳ）
・「各種合成構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，2010改定）（以下「各種合成構造指針」という。）

（参考文献）

・「自動車の衝突安全」2012年2月29日 名古屋大学出版会 著者 水野幸治

注記　＊：以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

建屋及び構造物の評価に用いる記号を表3-1～表3-5に示す。

表 3-1 衝突評価に用いる記号（Degen 式及び修正 NDRC 式）

記号	単位	記号の説明	
D	kgf/cm^3	飛来物直径密度　　$D=W/d^3$	
d	cm	飛来物の（等価）直径	
e	cm	貫通限界厚さ（コンクリート）	
F_c	kgf/cm^2	コンクリートの設計基準強度	
N	－	飛来物の形状係数	
V	m/s	外壁	飛来物の衝突速度（水平）
		屋根	飛来物の衝突速度（鉛直）
W	kgf	飛来物重量	
X	cm	貫入深さ	
α_e	－	低減係数	

表 3-2 衝突評価に用いる記号（BRL 式）

記号	単位	記号の説明
d	cm	飛来物の（等価）直径
k	－	鋼板の材質に関する係数
M	kg	飛来物の質量
T	m	貫通限界厚さ（鋼製部材）
V	m/s	飛来物の衝突速度（鉛直）

表 3-3 裏面剥離評価に用いる記号（Chang 式）

記号	単位	記号の説明	
d	cm	飛来物の（等価）直径	
f_c'	kgf/cm^2	コンクリートの設計基準強度	
S	cm	裏面剥離限界厚さ	
V	m/s	外壁	飛来物の衝突速度（水平）
		屋根	飛来物の衝突速度（鉛直）
V_0	m/s	飛来物基準速度	
W	kgf	飛来物重量	
α_s	－	低減係数	

表 3-4　変形評価に用いる記号（扉）

記号	単位	記号の説明
A_k	mm^2	カンヌキの断面積
A_p	mm^2	カンヌキ受けピンの断面積
A_b	mm^2	ボルトの断面積
A_d	m^2	扉の受圧面積
L_k	mm	カンヌキの支持間距離
L_P	mm	カンヌキ受けピンの支持間距離
M_1	kN/mm	カンヌキバーに生じる曲げモーメント
M_k	kN/mm	カンヌキに生じる曲げモーメント
M_p	kN/mm	カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント
n	本	ボルトの本数
n_h	箇所	ヒンジ部の箇所数
n_k	箇所	カンヌキ部の箇所数
Q_k	kN	カンヌキに生じるせん断力
Q_p	kN	カンヌキ受けピンに生じるせん断力
R	kN	気圧差による荷重により荷重負担部に発生する反力
T	kN	引張力
W_P	kN	気圧差による荷重
Z_1	mm^3	カンヌキバーの断面係数
Z_k	mm^3	カンヌキの断面係数
Z_P	mm^3	カンヌキ受けピンの断面係数
ΔP	N/m^2	単位面積当たりの最大気圧低下量
σ_b	N/mm^2	曲げ応力度
σ_t	N/mm^2	引張応力度
σ_x	N/mm^2	組合せ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度

表3-5　変形評価に用いる記号（原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ）（1/2）

記号	単位	記号の説明
q	N/m^2	設計用速度圧
C	－	風力係数
G	－	ガスト影響係数
ΔP	N/m^2	最大気圧低下量
d	mm	スタッドの軸部直径
D	mm	スタッドの頭部直径
l_e	mm	スタッドのコンクリート内への有効埋込深さ
$_{sc}a$	mm^2	スタッドの軸部断面積
$_{s}\sigma_{y}$	N/mm^2	スタッドの規格降伏点強度
$_{s}\sigma_{pa}$	N/mm^2	スタッドの引張強度
l_{ce}	mm	スタッドの強度算定用埋込み長さ
A_c	mm^2	コンクリートのコーン状破壊面の有効水平投影面積
A_0	mm^2	スタッド頭部の支圧面積
F_c	N/mm^2	コンクリートの設計基準強度
$_{c}\sigma_{t}$	N/mm^2	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度
f_n	N/mm^2	コンクリートの支圧強度
ϕ_1	－	スタッド鋼材の許容引張力及び許容せん断力を定めるために用いる低減係数
ϕ_2	－	定着躯体コンクリートのコーン状破壊及び支圧破壊に対する許容値を定めるために用いる低減係数
p_{a1}	kN	スタッド鋼材の降伏により決まる場合のスタッド1本当たりの許容引張力
p_{a2}	kN	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる場合のスタッド1本当たりの許容引張力
P	kN	コンクリートの支圧破壊により定まる，スタッド（1本）の許容引張力
p_a	kN	スタッドの許容引張力
ω_d	kN/m	常時作用する荷重による単位幅（奥行方向）当たりの荷重
ω_T	kN/m	評価に用いる竜巻の荷重による単位幅当たりの荷重
ω_{T1}	kN/m	評価に用いる竜巻の荷重のうち，W_{T1}による単位幅当たりの荷重
ω_{T2}	kN/m	評価に用いる竜巻の荷重のうち，W_{T2}による単位幅当たりの荷重
L	mm	屋根スラブの支持スパン
M	kN･m	単位幅の屋根スラブにおける単位幅当たりの発生曲げモーメント
Q	kN	屋根スラブにおける単位幅当たりの発生せん断力
p	mm	スタッドの配置間隔
T	kN	スタッド1本に生じる引張力
f_s	N/mm^2	コンクリートの許容せん断応力度
f_t	N/mm^2	鉄筋の許容引張応力度
a_t	mm^2	引張鉄筋の断面積
b	mm	屋根スラブの幅
d’	mm	屋根スラブの有効せい

表3-5　変形評価に用いる記号（原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ）（2/2）

記号	単位	記号の説明
j	mm	屋根スラブの応力中心距離（ｊ=(7/8)・ｄ’）
α	－	屋根スラブのせん断スパン比M/(Q・ｄ)による割り増し係数
M_a	kN・m	屋根スラブの許容曲げモーメント
Q_a	kN	屋根スラブの許容せん断力

3.2　評価対象部位

建屋及び構造物の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」に示す評価対象部位を踏まえて設定する。

3.2.1　衝突評価

(1)　建屋

設計荷重に対して，外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないことの確認において，原子炉建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋については，防護すべき施設の外殻となる屋根スラブ及び外壁を，タービン建屋については，防護すべき施設の外殻となる，建屋内のオペレーティングフロア床版及び気体廃棄物処理系隔離弁設置エリアの壁面を，地中に埋設されている軽油貯蔵タンクタンク室については，外部に露出している部位である鋼製蓋及び頂版を，評価対象施設として設定する。

また，開口部建具のうち原子炉建屋大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉（潜戸含む）及び内側扉），原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉，原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉及び空調機械室搬入口扉（潜戸含む）を評価対象部位として設定する。

また，重大事故等対処施設の環境条件維持に関与する扉（原子炉建屋付属棟1階東側水密扉，原子炉建屋付属棟1階南側水密扉，原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉，原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉及び原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉）についても，評価対象部位として選定する。

(2)　構造物

外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないことの確認において，軽油貯蔵タンクタンク室については，鋼製蓋及びＲＣ造の頂版を評価対象部位として選定する。海水ポンプエリア防護壁については，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1-10-1　建屋及び構造物の強度計算書」に示すＲＣ造の壁を評価対象部位として選定する。

3.2.2　裏面剥離評価

(1)　ＲＣ造建屋

設計荷重に対して，外殻を構成する部材が飛来物による裏面剥離を生じないことの確認において，原子炉建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋については，防護すべき施設の外殻となる屋根スラブ及び外壁（ＲＣ造部）を，タービン建屋については，防護すべき施設の外殻となる，建屋内のオペレーティングフロア床版及び気体廃

NT2 補② Ⅴ-3-別添 1-1-1 R20

棄物処理系隔離弁設置エリアの壁面を，地中に埋設されている軽油貯蔵タンクタンク室については，外部に露出しているＲＣ造部である頂版を，評価対象部位として設定する。

(2)　ＲＣ造構造物

設計荷重に対して，外殻を構成する部材が飛来物による裏面剥離を生じないことの確認において，軽油貯蔵タンクタンク室については，ＲＣ造の頂版を評価対象部位として選定する。海水ポンプエリア防護壁については，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1-10-1　建屋及び構造物の強度計算書」に示すＲＣ造の壁を評価対象部位として選定する。

3.2.3　変形評価

(1)　建屋

設計荷重に対して，外殻を構成する部材自体が外部事象防護対象施設へ衝突等の影響を与える変形に至らないことの確認において，建屋については，設計荷重が外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し，耐震壁を介して直接岩盤に支持する基礎版へ伝達されるため，設計荷重が直接作用する，防護すべき施設の外殻となる屋根スラブ及び外壁のうち，屋根スラブについては，代表として部材厚が最も薄い原子炉建屋原子炉棟の屋根スラブを，外壁については原子炉建屋（ＲＣ造部及び鉄骨造部），タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋を評価対象部位として設定する。

また，施設の外殻を構成する部材である扉については，気圧差による荷重が扉板，芯材に伝わり，扉支持部材（ヒンジ部，カンヌキ部及び扉枠）を介して建屋躯体に伝達されることから，これらの部材が評価対象部位として抽出される。このうち，扉板は対貫通性を考慮した厚板であり，また扉支持部材のうち扉枠は躯体壁に埋め込まれて一体化していることから，扉の閉止状態を維持するための支持部材である，カンヌキ部を評価対象部位として設定する。

また，アクセスルートの通行性に影響を与える変形に至らないことの確認において，廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）を評価対象部位として設定する。

(2)　構造物

設計荷重に対して，外殻を構成する部材自体が竜巻により防護すべき施設へ衝突等の影響を与える変形に至らないことの確認において，軽油貯蔵タンクタンク室については，地中に埋設され竜巻の風荷重を受け難い構造であることから，評価は不要とする。海水ポンプエリア防護壁については，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1-10-1　建屋及び構造物の強度計算書」に示す変形評価に包含されるため，本書においては評価を省略する。

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.3.1　荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1)　風圧力による荷重（W_W）

風圧力による荷重W_Wは，下式により算定する。

風力係数Ｃは，「建築基準法及び同施行令」に基づき設定する。

$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$

(2)　気圧差による荷重（W_P）

気圧差による荷重W_Pについては，気圧差による荷重が最大となる「閉じた施設」を想定し，下式により算定する。

$W_P = \Delta P \cdot A$

(3)　飛来物による衝撃荷重（W_M）

a．　建屋，構造物

飛来物による衝撃荷重W_Mは，表3-6に示す飛来物の衝突に伴う荷重とするが，この荷重は瞬間的に作用するものであり，またこれら飛来物に対し質量が十分に大きな建屋及び構造物が評価の対象であるため，これらの施設の全体的な挙動に対する評価（変形評価）においては考慮せず，評価対象施設に対する瞬間的かつ局所的な影響の評価（貫通，裏面剥離）時のみ考慮する。

b.　扉

扉については，衝突評価にて貫通を阻止するための板厚が確保されていることを確認すること，また評価対象となる扉は，飛来物による衝撃荷重を受ける場合，扉の支持構造物となる建屋の壁面に押し付けられ，衝撃荷重は建屋に流れる構造となっていることから，扉の変形評価においては考慮しない。

表3-6　飛来物の諸元

飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	水平方向の飛来速度 (m/s)	鉛直方向の飛来速度 (m/s)	衝突対象
鋼製材	4.2×0.2×0.3	135	51	34	設計飛来物として，全ての建屋及び構造物を対象
車両	3.6×2.5×8.6	5000	52	－*	隣接事業所からの飛来物の代表的なものとして，以下の施設を対象 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・緊急時対策所建屋

注記　＊：種々の車両の飛散解析結果と衝突対象建屋の屋根スラブの高さ及び厚さの関係から，車両が屋根に到達することは考え難く，仮に屋根に到達した場合でも，飛跡頂点から屋根までの落下距離は僅かであり，有意な衝突速度にならないと考えられるため。

(4)　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重F_dとして，自重及び上載荷重を考慮する。

3.3.2　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の,「4.1　荷重及び荷重の組合せ」を踏まえ，設計荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表 3-7 に示す。

NT2 補② Ⅴ-3-別添 1-1-1 R20

表3-7　荷重の組合せ

評価内容	評価対象部位	荷重の組合せ	
衝突評価	（式による評価） ・下記施設の屋根スラブ，外壁及び内壁 原子炉建屋（ＲＣ造部及び鉄骨造部） タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 軽油貯蔵タンクタンク室 緊急時対策所建屋 ・扉（扉板）	W_M	
	（解析による評価） ・原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ	複合荷重 W_{T2}	$W_W+1/2W_P+W_M+F_d$
裏面剥離評価	（式による評価） ・下記施設の屋根スラブ，外壁及び内壁 原子炉建屋（ＲＣ造部） タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 軽油貯蔵タンクタンク室 緊急時対策所建屋	W_M	
	（解析による評価） ・原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ ・原子炉建屋外壁 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁	複合荷重 W_{T2}	$W_W+1/2W_P+W_M+F_d$
変形評価	（式による評価） ・原子炉建屋（ＲＣ造部） ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・緊急時対策所建屋	複合荷重 W_{T2}	$W_W+1/2W_P+F_d$
	（解析による評価） ・原子炉建屋（鉄骨造部） ・廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備 （鉄骨造部）	複合荷重 W_{T2}	$W_W+1/2W_P+W_M+F_d$
	（式による評価） ・原子炉建屋（鉄骨造部外装板） ・扉(カンヌキ部) ・廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備 （鉄骨造部外装板）	W_P	

W_W：風圧力による荷重　　W_P：気圧差による荷重
W_M：飛来物による衝撃荷重　　F_d：常時作用する荷重

3.4　許容限界

建屋及び構造物の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界を踏まえて，評価対象部位ごとに，評価内容に応じて設定する。

3.4.1　衝突評価

衝突評価の許容限界（式による評価）を表 3-8 に示す。

表3-8　衝突評価の許容限界（式による評価）

評価内容	評価対象部位			許容限界	
				貫通限界厚さ(mm)*1	
				鉛直方向	水平方向
衝突評価 (式による評価)	コンクリート	原子炉建屋		188	265
		タービン建屋		188	265
		使用済燃料乾式貯蔵建屋	鋼製材	185	261
			車両	—*2	299
		軽油貯蔵タンクタンク室		163	—*3
		海水ポンプエリア防護壁		—*4	260
		緊急時対策所建屋	鋼製材	175	247
			車両	—*2	282
	鋼板	軽油貯蔵タンクタンク室鋼製蓋		18.2	—*5
		扉板（鋼板）		31.2 mm 又は 吸収エネルギ 175.6 kJ 以上 *6	

注記　＊1：特記ない場合は，鋼製材に対する値
＊2：屋上への車両の衝突は評価対象外（表3-6より）
＊3：地中の構造物のため，側壁は露出していない。
＊4：構造上，飛来物が衝突し得る水平面を有しない。
＊5：構造上，飛来物が衝突し得る鉛直面を有しない。
＊6：複数枚の板が直列の構成となっている原子炉建屋機器搬入口扉が該当する。

式による評価を満足せず，解析による評価を行う場合における許容限界を表3-9に示す。

表3-9　衝突評価の許容限界（解析による評価）

評価内容	評価対象部位		許容限界
衝突評価 (解析による評価)	原子炉建屋原子炉棟 屋根スラブ	鉄筋	0.082 (塑性ひずみ)

NT2 補② Ⅴ-3-別添 1-1-1 R20

3.4.2　裏面剥離評価

裏面剥離評価の許容限界（式による評価）を表 3-10 に示す。

表3-10　裏面剥離評価の許容限界（式による評価）

評価内容	評価対象部位			許容限界（㎜）	
				裏面剥離限界厚さ*1	
				鉛直方向	水平方向
裏面剥離評価（式による評価）	コンクリート	原子炉建屋		355	466
		タービン建屋		355	466
		使用済燃料乾式貯蔵建屋	鋼製材	346	454
			車両	－*2	649
		軽油貯蔵タンクタンク室		280	－*3
		海水ポンプエリア防護壁		－*4	451
		緊急時対策所建屋	鋼製材	314	412
			車両	－*2	589

注記　＊1：特記ない場合は，鋼製材に対する値
＊2：屋上への車両の衝突は評価対象外（表3-6より）
＊3：地中の構造物のため，側壁は露出していない。
＊4：構造上，飛来物が衝突し得る水平面を有しない。

式による評価を満足せず,解析による評価を行う場合における許容限界を表3-11に示す。

表3-11　裏面剥離評価の許容限界（解析による評価）

評価内容	評価対象部位		許容限界
裏面剥離評価（解析による評価）	原子炉建屋原子炉棟外壁*1	下層の鉄筋	2.0×10^{-3}（全ひずみ）
	原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ*2	デッキプレート	0.082（塑性ひずみ）
	使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁*3	ライナ	0.095（塑性ひずみ）

注記　＊1：鋼製材に対する裏面剥離限界厚さを満たさない部位（内張材無し）のうち，最も厚さの小さいものとして選定
＊2：鋼製材に対する裏面剥離限界厚さを満たさない部位（内張材あり）
＊3：車両に対する必要最小厚さを満たさない部位

3.4.3　変形評価

変形評価の許容限界を表 3-12 に示す。

屋根スラブ及びスタッドの変形評価の許容限界は，それぞれＲＣ規準及び各種合成構

NT2 補② Ⅴ-3-別添 1-1-1 R20

造指針に基づく強度とし，ＲＣ造の建屋全体の変形評価の許容限界は，耐震壁のせん断ひずみに関する許容限界に基づく 2.0×10^{-3} とする。建屋のうち鉄骨造部においては，全体の変形評価は「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」及びＪＥＡＧ４６０１に準じた短期許容応力度を，外装板の変形評価はメーカにて定めた値を，それぞれ許容限界とする。扉の変形評価におけるカンヌキ部の評価は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に準じた短期許容応力度を許容限界とする。

表3-12　変形評価の許容限界

評価内容	評価対象部位	許容限界	
変形評価 （屋根スラブ）	屋根スラブ	「ＲＣ規準」に基づく終局強度	
	スタッド （屋根支持部）	「各種合成構造指針」に基づく許容耐力	
変形評価 （建屋全体）	建屋の構造躯体	ＲＣ造部	せん断ひずみ　2×10^{-3}
		鉄骨造部	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に準じた短期許容応力度
変形評価 （鉄骨造部）	外装板	面外	外装板の許容曲げ応力度 40 (N/mm^2)＊ 取付ボルトの許容引張荷重 3 (kN)＊
変形評価 （扉）	カンヌキ部	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に準じた短期許容応力度	

注記　＊：外装板メーカの技術資料による

3.5　評価方法

3.5.1　衝突評価

(1) 貫通評価式による評価

a.　鉄筋コンクリート部

貫通限界厚さｅを，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，以下に示すDegen式を用いて算出し，外殻となる部位の厚さが許容限界を上回ることを確認する。

$X/d \leqq 1.52$の場合

$$e = \alpha_e\{2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2\} \cdot d$$

ここで，貫入深さＸは，

$X/d \leqq 2.0$の場合

$$X/d=\{(48580/\sqrt{F_C})\cdot N\cdot d^{0.2}\cdot D\cdot(V/1000)^{1.8}\}^{0.5}$$

b. 鋼製部

貫通限界厚さＴを，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，以下に示すBRL式を用いて算出し，外殻となる部位の厚さが許容限界を上回ることを確認する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot V^{2}}{1.439\cdot 10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

なお，BRL式による許容限界を1枚では満足しない箇所については，BRL式をエネルギ吸収量の観点により変形した以下の式に基づき，直列する複数枚の鋼製障壁によるエネルギ吸収量の総和が，飛来物の運動エネルギを上回ることを確認する。

複数の鋼板（ｎ枚）を考慮し，ｉ枚目の板厚をt_iとすると，ｉ枚目の板で吸収可能なエネルギE_iは，次式で表わされる。

$$E_i=\left(1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}\right)\cdot t_i^{\frac{3}{2}}$$

よって，ｎ枚の板により吸収可能な飛来物の運動エネルギＥは

$$E=\sum_{i=1}^{n}E_i$$

となる。

(2)　原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに対する衝突解析

飛来物（鋼製材）に対して，Degen式による貫通限界厚さを満足しない原子炉建屋原子炉棟屋根スラブについては，飛来物（鋼製材）による衝撃荷重W_M及び常時作用する荷重F_dを考慮し，3次元ＦＥＭモデルを用いた衝突解析により屋根スラブの鉄筋に生じるひずみを算出し，許容限界を超えないことを確認する。なお，風圧力による荷重W_W及び気圧差による荷重W_Pについては，衝撃荷重と逆方向に作用するため，保守的に考慮しない。

衝突解析には，解析コード「ＬＳ－ＤＹＮＡ」を用いる。なお，評価に用いた解析コード「ＬＳ－ＤＹＮＡ」の検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-32　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＬＳ－ＤＹＮＡ」に示す。

a. 解析モデル

(a)　屋根スラブ

屋根スラブのモデル化範囲及び飛来物の衝突位置を図3-1に示す。屋根トラスの主トラス間の長さはほぼ同等であることより，評価上重要な使用済燃料プール直上となる部位とし，屋根スラブのコンクリート，鉄筋及びデッキプレートをモデル化する。

コンクリートはソリッド要素，鉄筋はビーム要素及びデッキプレートはシェル要素でモデル化する。

屋根スラブの解析モデル図を図3-2に示す。

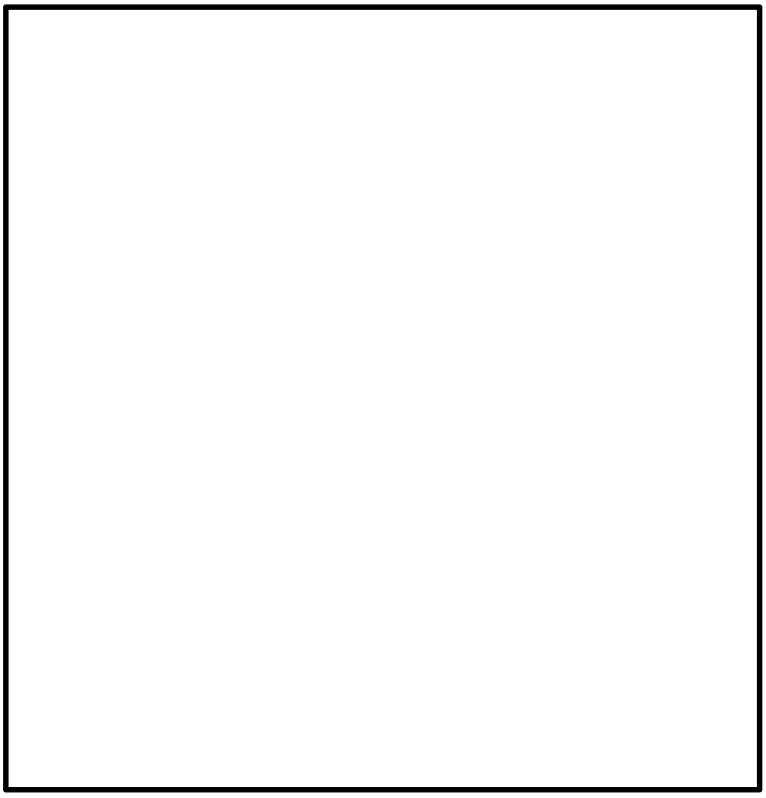


図3-1　原子炉建屋原子炉棟屋根スラブのモデル化範囲及び飛来物の衝突位置

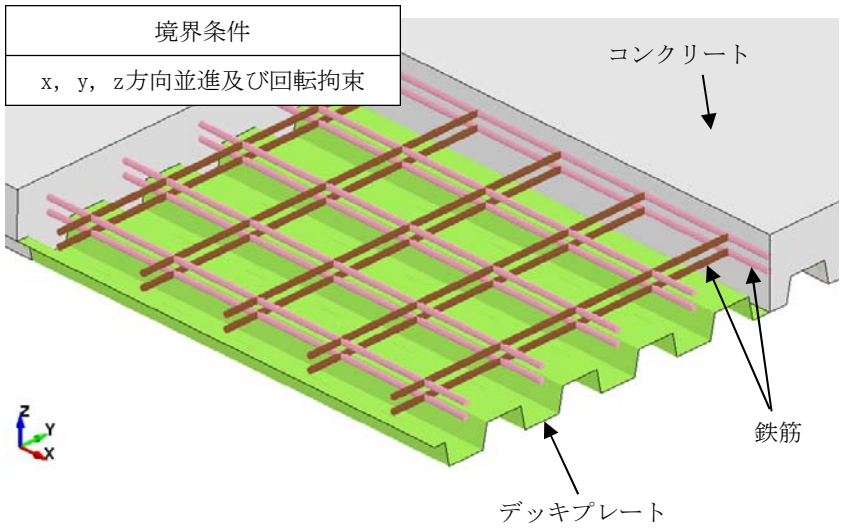
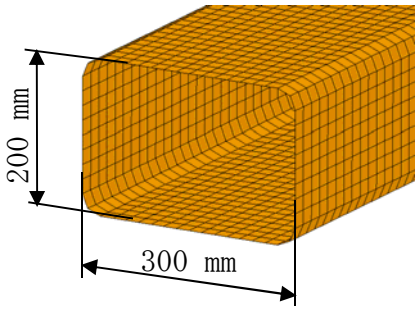


図3-2　原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析モデル図

(b)　飛来物

飛来物（鋼製材）は，衝突時の荷重が保守的となるよう接触断面積を小さくするため，先端部（衝突部）を開口としてシェル要素でモデル化し，自重及び竜巻による風圧力による荷重を作用させた状態で衝突させる。

飛来物（鋼製材）の解析モデル図を図3-3に示す。



飛来物断面：t 4.38 mm×200 mm×300 mm
全長：4.2 m
質量：135 kg

図3-3　飛来物（鋼製材）の解析モデル図

b.　材料定数

コンクリート，鉄筋，デッキプレート及び飛来物（鋼製材）の材料定数をそれぞれ表3-13～表3-16に示す。

表3-13　コンクリートの材料定数

種類	設計基準強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比 (－)	単位体積重量 (kN/m^3)
普通コンクリート	22.1	2.21×10^4	0.2	23.0

表3-14　鉄筋の材料定数

種類	降伏応力 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	単位体積重量 (kN/m^3)
SD345	345	2.05×10^5	77

表3-15　デッキプレートの材料定数

種類	降伏応力 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	単位体積重量 (kN/m^3)
SDP1T	205	2.05×10^5	77

表3-16　飛来物（鋼製材）の材料定数

種類	降伏応力 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	単位体積重量 (kN/m^3)
SS400	245	2.05×10^5	77

c.　材料の非線形特性

コンクリートの応力－ひずみ関係は，圧縮側が圧縮強度に到達後もその応力を保持するバイリニアとし，引張側は主応力が引張強度に到達後に引張主応力と直交方向にひび割れが生じるものとして，ひずみに応じて保持応力を低下させる引張軟化特性を与える。圧縮強度は，ＮＥＩ07-13に従い，設計基準強度に対して動的増加率1.25を乗じた値とする。

鋼製部材である鉄筋，デッキプレート及び飛来物（鋼製材）の応力－ひずみ曲線は，第1折れ点を「降伏応力－降伏ひずみ」，第2折れ点を「破断相当応力－破断相当ひずみ」とするトリリニア型とする。鉄筋，デッキプレート及び飛来物（鋼製材）の降伏応力は，降伏応力に動的増加率を乗じた値，破断相当応力は，動的増加率を乗じた降伏応力及び引張強さを結ぶ線のうち，規格値の伸びを後述の多軸性係数で除したひずみ（破断相当ひずみ）時に相当する応力とする。

動的増加率は，ＮＥＩ07-13に基づく値（鉄筋：1.10（降伏応力），1.05（引張強度），デッキプレート・飛来物：1.29（降伏応力），1.10（引張強度））とする。

金属材料の破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また，ＮＥＩ07-13においてＴＦ（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ，鉄筋及びデッキプレートの破断相当ひずみはTF=2.0とする。なお，飛来物（鋼製材）の破断相当ひずみは，飛来物（鋼製材）が破断することなく継続的に荷重が掛かるように配慮し，TF=1.0とする。

コンクリート，鉄筋，デッキプレート及び飛来物（鋼製材）の強度をそれぞれ表3-17及び表3-18に示す。

表3-17　コンクリートの圧縮及び引張強度

（単位：N/mm^2）

設計基準強度	材料モデル	
	圧縮強度	引張強度
22.1	27.6	2.55

表3-18　鉄筋，デッキプレート及び飛来物（鋼製材）の降伏及び破断強度

種別	材質	規格値（公称応力）		材料モデル（真応力，真ひずみ）		
		降伏応力 (N/mm^2)	破断応力 (N/mm^2)	降伏応力 (N/mm^2)	破断相当応力 (N/mm^2)	破断相当塑性ひずみ（－）
鉄筋	SD345	345	490	380.2	494.2	0.082
デッキプレート	SDP1T	205	270	264.8	307.8	0.082
飛来物（鋼製材）	SS400	245	400	316.6	533.3	0.189

コンクリート，鉄筋，デッキプレート及び飛来物（鋼製材）の応力－ひずみ関係をそれぞれ図3-4～図3-7に示す。

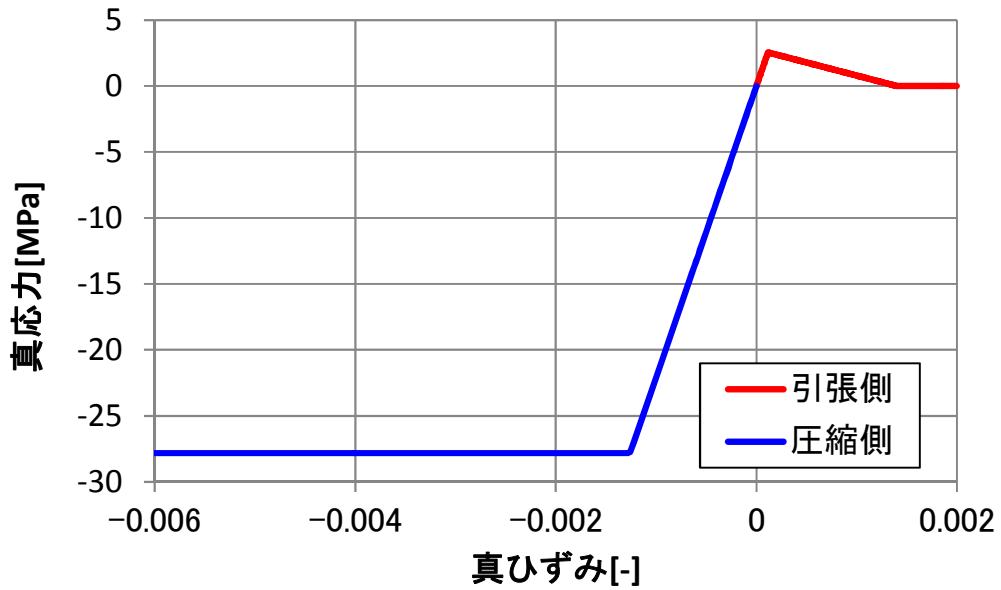


図3-4　真応力－真ひずみ関係（コンクリート）

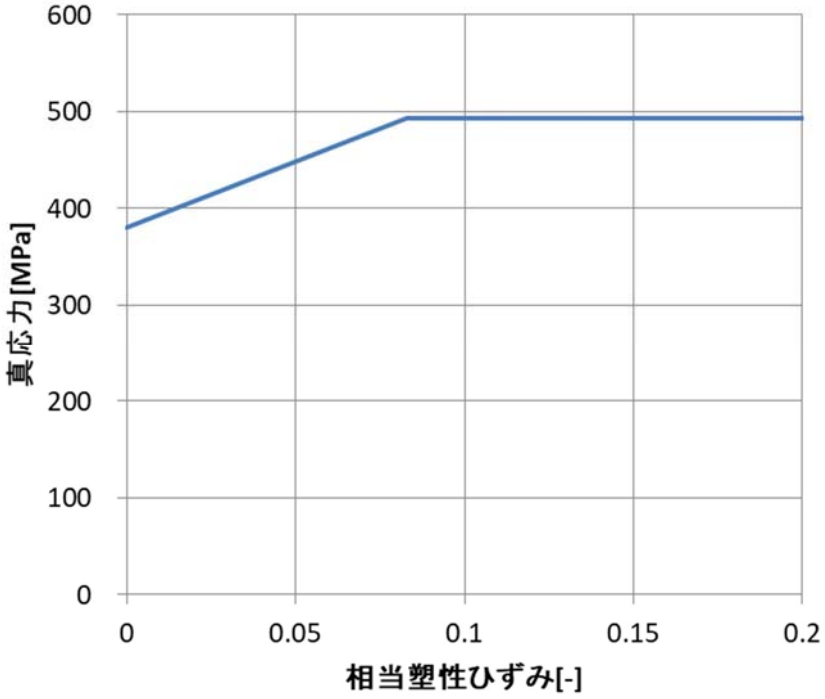


図3-5　真応力－相当塑性ひずみ関係（鉄筋）

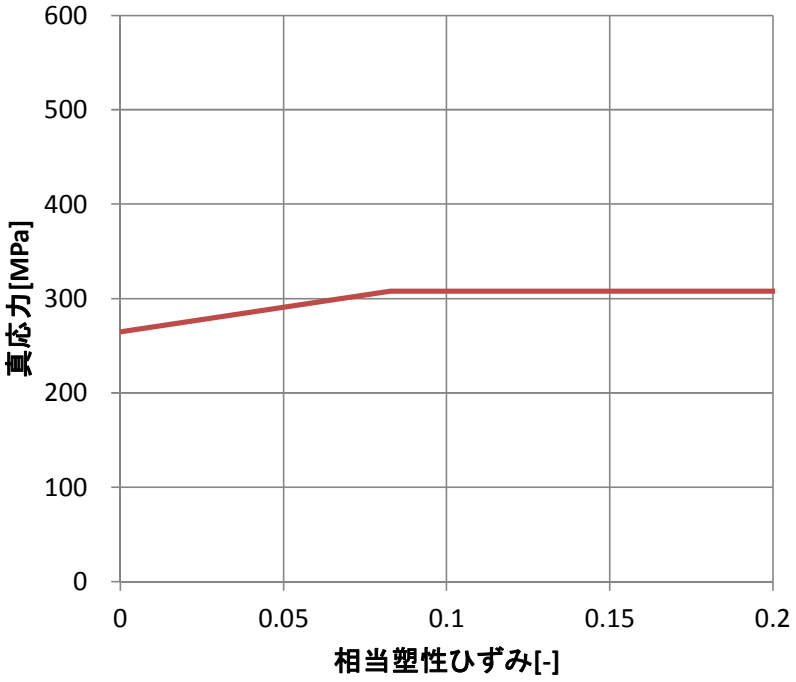


図3-6　真応力－相当塑性ひずみ関係（デッキプレート）

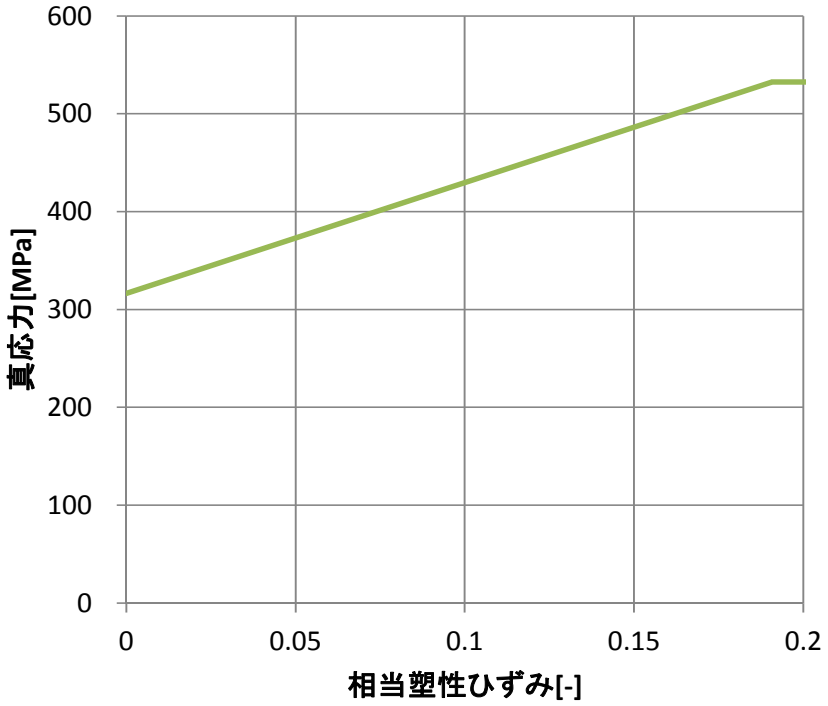


図3-7　真応力－相当塑性ひずみ関係（飛来物（鋼製材））

3.5.2　裏面剥離評価

(1)　Chang式による評価

裏面剥離限界厚さＳを，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，以下に示すChang式を用いて算定し，許容限界を超えないことを確認する。

$$S = 1.84\alpha_S \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.13} \cdot \frac{\left(\frac{W \cdot V^2}{0.0980}\right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c{}'^{0.4}}$$

(2)　原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに対する衝突解析

飛来物（鋼製材）に対して，Chang式による裏面剥離限界厚さを満足しない原子炉建屋原子炉棟屋根スラブについては，衝突評価と同じモデルによる衝突解析によりデッキプレートに生じるひずみを算出し，許容限界を超えないことを確認する。

(3)　原子炉建屋原子炉棟外壁に対する衝突解析

デッキプレートを有する原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ及び裏面にライナを貼付する使用済燃料乾式貯蔵建屋を除く，飛来物（鋼製材）に対してChang式による裏面剥離限界厚さを満足しない箇所については，版厚が最も小さい原子炉建屋原子炉棟6階の外壁を代表箇所に選定し，風圧力による荷重W_W，飛来物（鋼製材）による衝撃荷重W_M及び

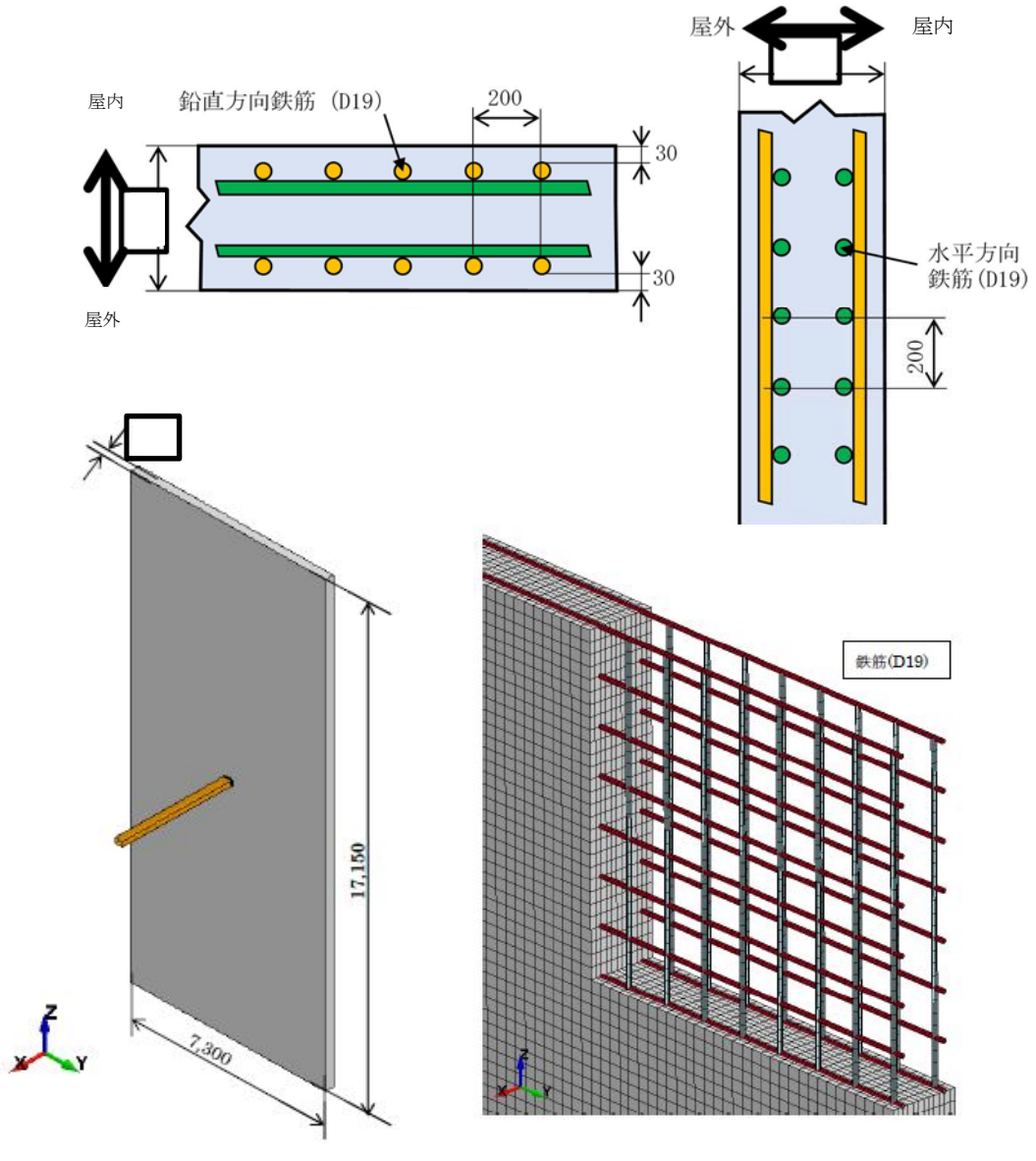
常時作用する荷重F_dを考慮し，3次元ＦＥＭモデルを用いた衝突解析により裏面側の鉄筋に発生するひずみを算出し，許容限界を超えないことを確認する。なお，気圧差による荷重W_Pについては，衝撃荷重と逆方向に作用するため，保守的に考慮しない。

a.　解析モデル

(a)　建屋外壁

評価対象箇所（原子炉建屋原子炉棟6階外壁）の構造及び解析モデル図を図3-8に示す。モデル化は，曲げが大きくなるよう，最も幅の広い柱間1スパンを対象とする。

コンクリートはソリッド要素，鉄筋はビーム要素でモデル化する。



（単位 mm）

図 3-8　飛来物（鋼製材）に対する裏面剥離評価解析対象箇所の構造及び解析モデル図

(b)　飛来物

飛来物は，原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析モデルと同じ鋼製材を用いる。

b.　材料定数及び材料の非線形特性

コンクリート及び鉄筋の材料物性については，原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析に同じ。

(4)　使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁に対する衝突解析

飛来物（鋼製材及び車両）に対して，Chang式による裏面剥離限界厚さを満足しない使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁（車両の衝突を想定する東側及び南側）に対しては，裏面に鋼製ライナを施工する対策を講ずる。これらの壁については，最薄部の版厚と配筋ピッチは同じであることから，最薄部かつ鉄筋径が小さい南面上部壁を代表箇所に選定し，風圧力による荷重W_W，飛来物（車両を代表とする）による衝撃荷重W_M及び常時作用する荷重F_dを考慮し，3次元ＦＥＭモデルを用いた衝突解析により裏面のライナに発生するひずみを算出し，許容限界を超えないことを確認する。なお，気圧差による荷重W_Pについては，使用済燃料乾式貯蔵建屋は開かれた建屋であるため考慮しない。

鋼製ライナの貼付範囲を図3-9に示す。鋼製ライナは，アンカーボルトにより外壁の裏面に固定する。

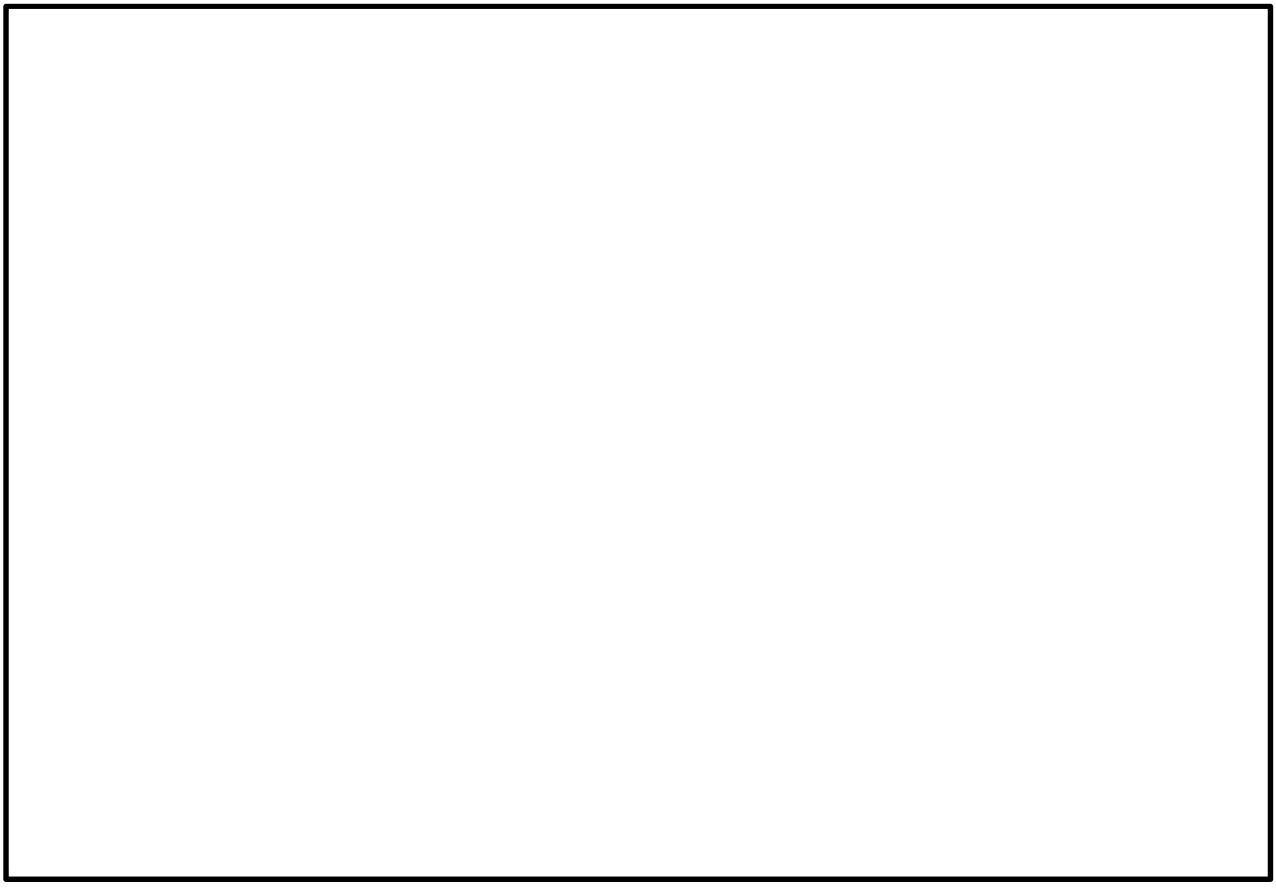
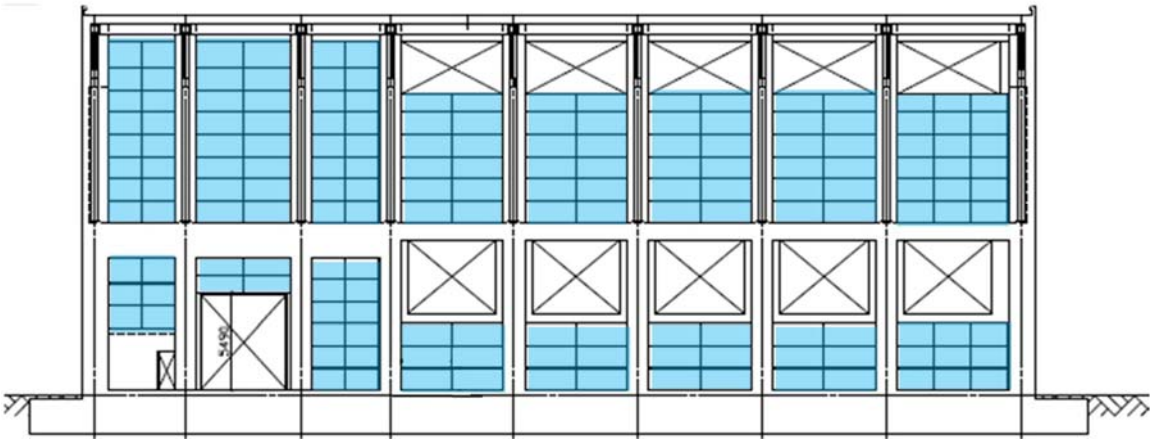
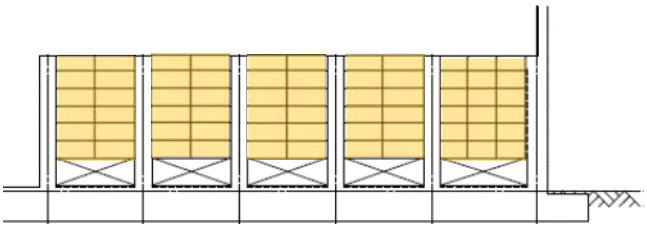


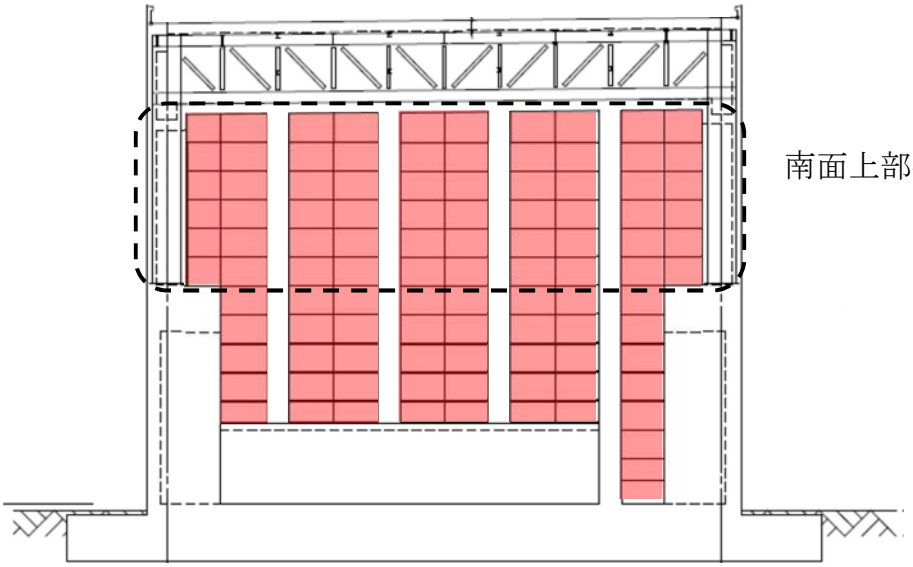
図3-9　鋼製ライナ貼付範囲（1/2）



＜東側　外壁面（Ａ－Ａ視）＞



＜東側　内壁面（Ｂ－Ｂ視）＞



＜南側　内壁面（Ｃ－Ｃ視）＞

図3-9　鋼製ライナ貼付範囲（2/2）

a.　解析モデル

(a)　建屋外壁

評価対象箇所（南面上部壁）の構造及び解析モデル図を図3-10に示す。モデル化は，柱間1スパンを対象とする。

コンクリートはソリッド要素，鉄筋はビーム要素及びライナはシェル要素でモデル化する。

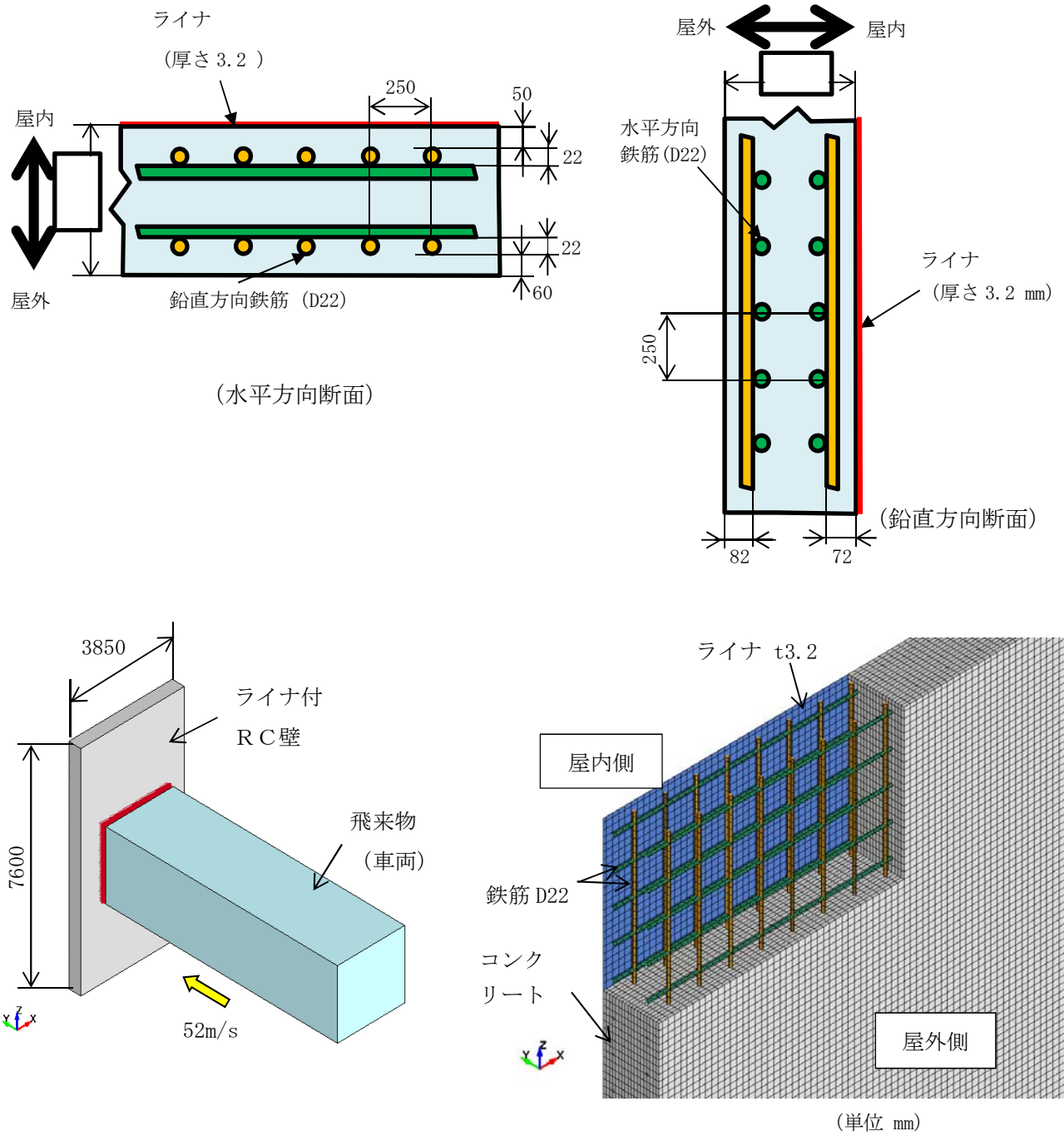


図 3-10　飛来物（車両）に対する裏面剥離評価解析対象箇所の構造及び解析モデル図

(b) 飛来物

飛来物として想定する車両のモデル図を図3-11に示す。車両は，車両剛性を衝突面の接点数で除した剛性を持つバネを，衝突面の接点ごとに配分した剛体としてモデル化した。また，建屋の柱間のスパンに対し車両（トラック相当）の長さが上回り，横向き時には柱で衝突荷重を支えることになるため，壁面のみで負荷を受けるよう，車両は正面衝突するモデルとした。また，衝突面の寸法については，衝突想定箇所となるキャビンの寸法を踏まえ設定した。

飛来物（車両）モデルの諸元を表3-19に示す。

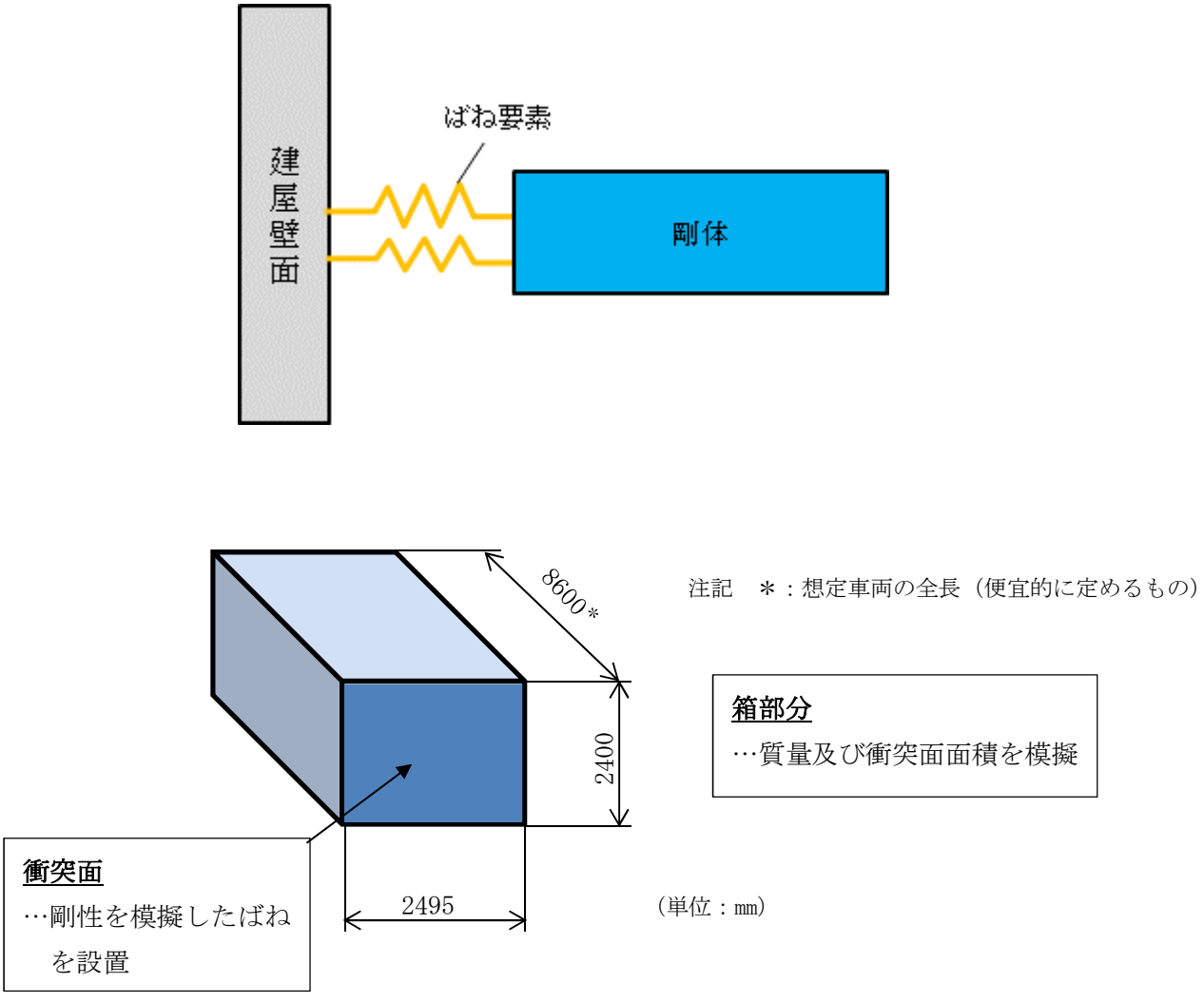


図3-11　飛来物（車両）の解析モデル図

表3-19　飛来物（車両）モデルの諸元

寸法*1 (m)	衝突面寸法*2 (m)	質量 (kg)
3.6×2.5×8.6	幅 2.495 高さ 2.400	5000

注記　＊1：簡易式評価
＊2：車両諸元のモデルとなったトラック（8tクラス）のキャビン前面寸法を基に設定

b.　材料定数

コンクリート，鉄筋，ライナの材料定数及び車両モデルの剛性を，それぞれ表3-20～表3-23に示す。

表3-20　コンクリートの材料定数

設計基準強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比 (－)	単位体積重量 (kN/m^3)
23.5	2.25×10^4	0.2	24

表3-21　鉄筋の材料定数

種類	降伏応力 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	単位体積重量 (kN/m^3)
SD390	390	2.05×10^5	77

表3-22　ライナの材料定数

種類	降伏応力 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	単位体積重量 (kN/m^3)
SS400	245	2.05×10^5	77

表3-23　車両モデルの剛性

（単位：N/m）

剛性
2.94×10^6 ＊

注記　＊：自動車の衝突安全（名古屋大学出版会）を参照し，以下のとおり算出。
588（N/m/kg）×5000（kg）＝2.94×10^6（N/m）

c. 材料の非線形特性

材料の非線形特性の考え方は，原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析に同じ。

コンクリート，鉄筋及びライナの強度をそれぞれ表3-24及び表3-25に示す。

表3-24　コンクリートの圧縮及び引張強度

（単位：N/mm²）

設計基準強度	材料モデル	
	圧縮強度	引張強度
23.5	29.4	3.08

表3-25　鉄筋及びライナの降伏及び破断強度

種別	材質	規格値（公称応力）		材料モデル（真応力，真ひずみ）		
		降伏応力 (N/mm²)	破断応力 (N/mm²)	降伏応力 (N/mm²)	破断相当応力 (N/mm²)	破断相当塑性ひずみ (－)
鉄筋	SD390	390	560	429.9	556.9	0.074
ライナ	SS400	245	400	316.6	425.0	0.095

コンクリート，鉄筋及びライナの応力－ひずみ関係を，それぞれ図3-12～図3-14に示す。

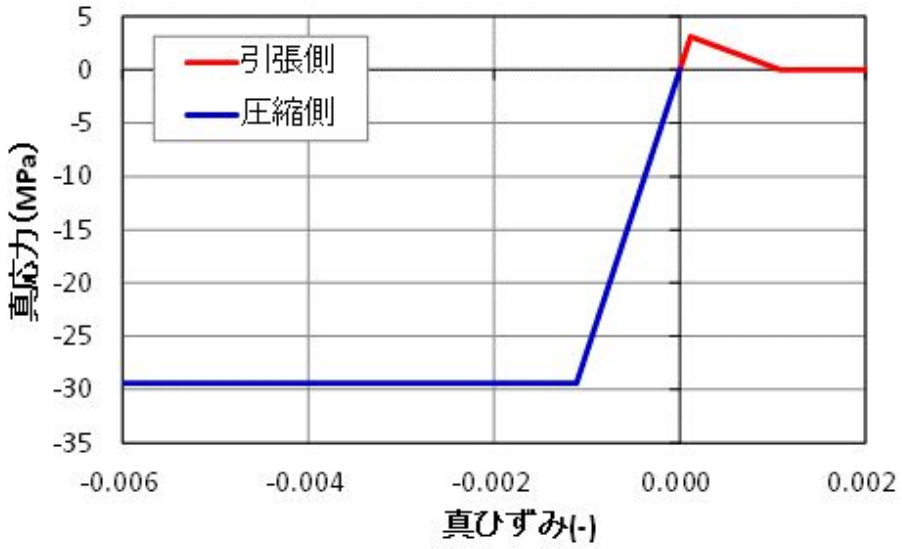


図3-12　真応力－真ひずみ関係（コンクリート）

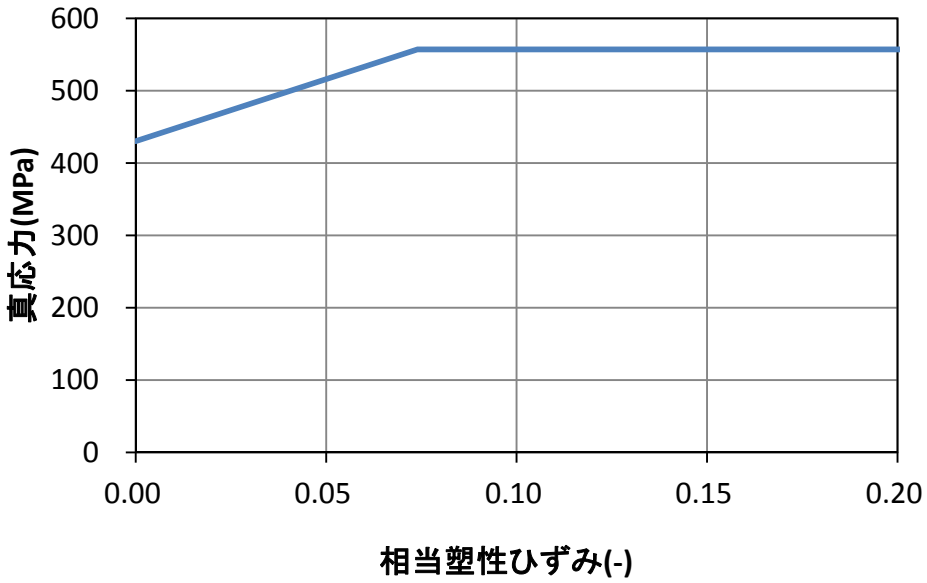


図3-13　真応力－相当塑性ひずみ関係（鉄筋）

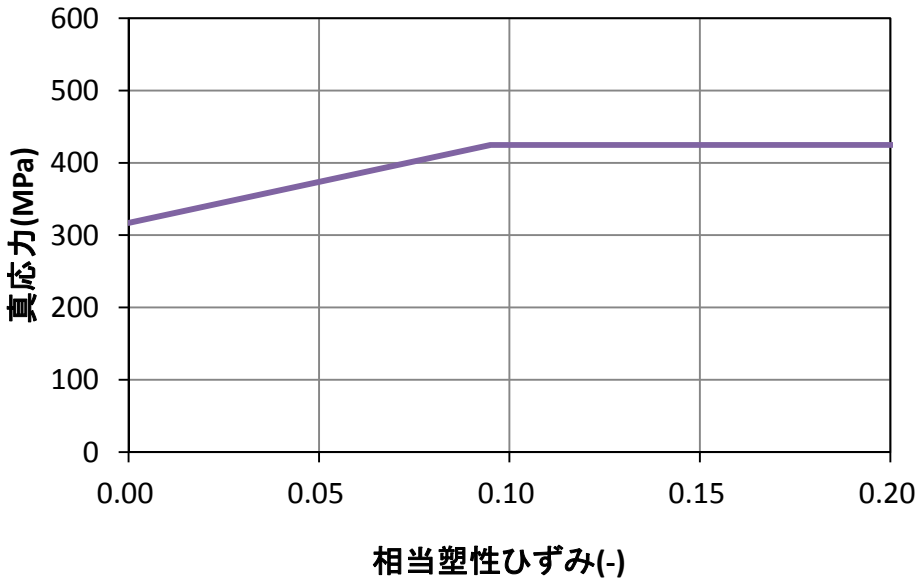


図3-14　真応力－相当塑性ひずみ関係（ライナ）

3.5.3　変形評価

(1)　原子炉建屋（ＲＣ造部），タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋

原子炉建屋（ＲＣ造部），タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の変位は，設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力-せん断ひずみ（Ｑ－γ）関係より算定する。

原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋のＱ－γ関係は，添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」及び添付書類「Ⅴ-2-2-4　使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応

答計算書」に示されるせん断スケルトンカーブ（τ－γ関係）に基づき算出する。

タービン建屋のＱ－γ関係は，地震応答解析モデルが多軸の質点系モデルを用いており各軸に対しせん断スケルトンカーブを算出していることから，層全体の評価を行うため，各軸のせん断スケルトンカーブを層全体の値に集約したせん断スケルトンカーブに基づき算出する。

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の地震応答解析モデル図を図3-15～図3-18に，Ｑ－γ関係を表3-26～表3-29に示す。

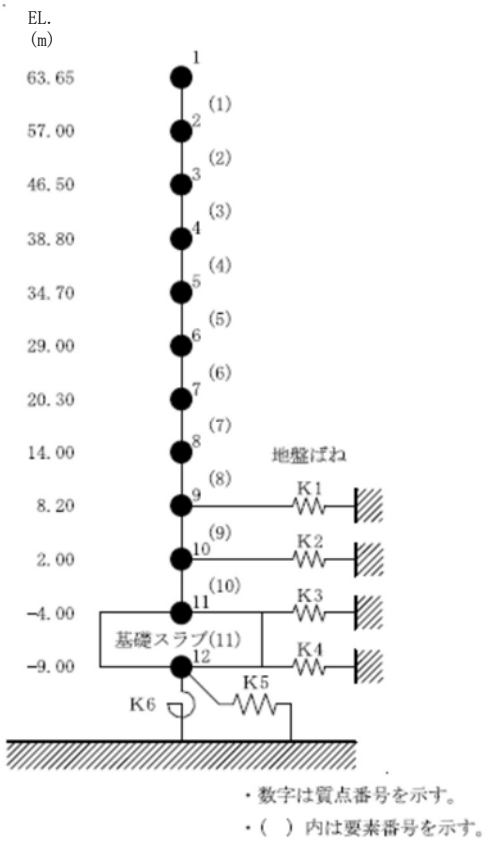


図3-15　原子炉建屋の地震応答解析モデル図

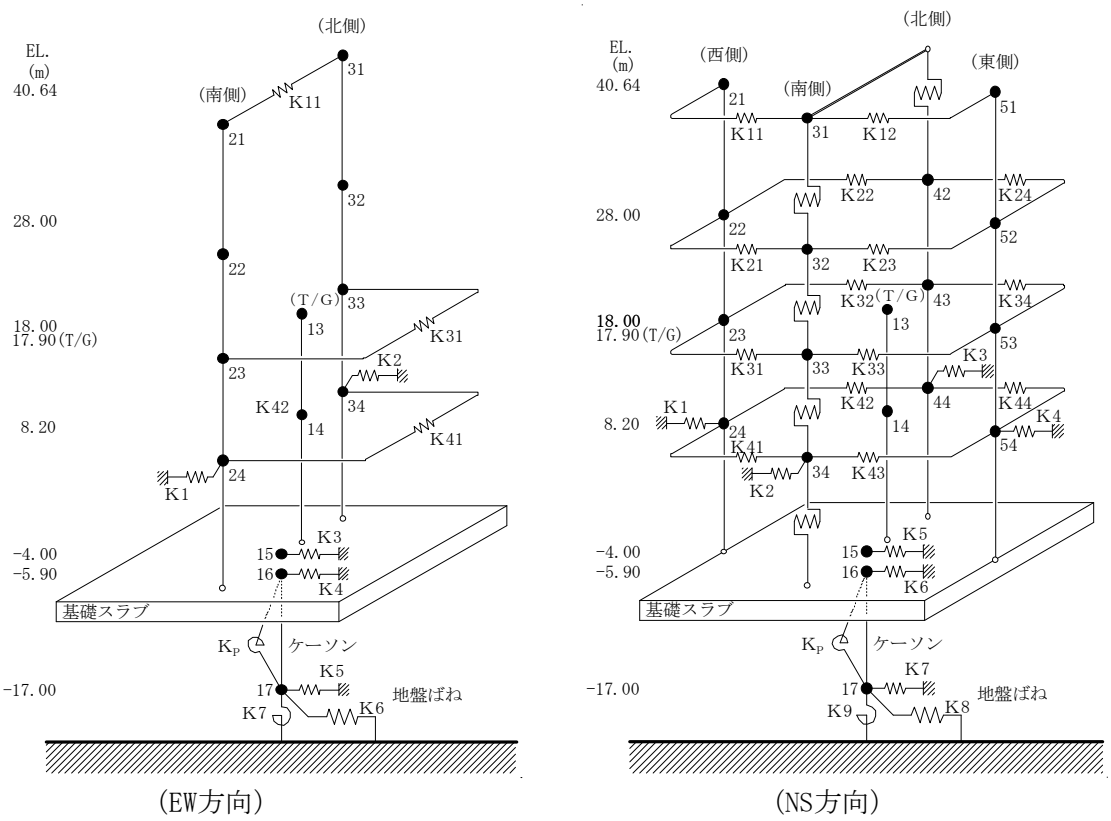


図3-16　タービン建屋の地震応答解析モデル図

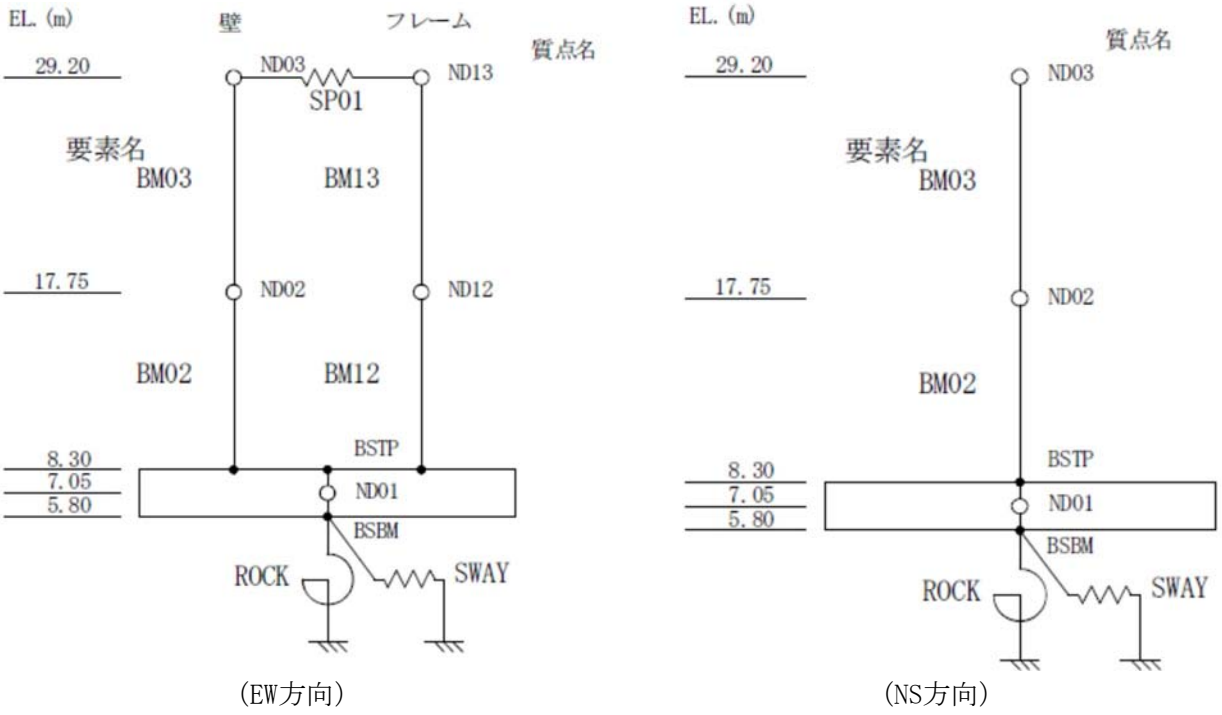


図3-17　使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデル図

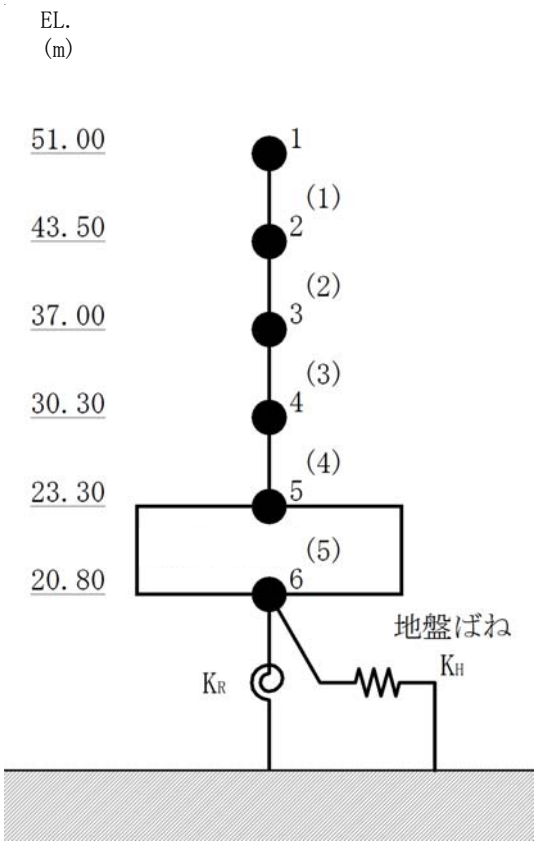


図3-18　緊急時対策所建屋の地震応答解析モデル図

表3-26 [　　] のQ－γ関係

(a) NS方向

高さ EL.			要素番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)			－	(kN)			($\times 10^{-3}$ (－))		
63.65	～	57.00	1	4.37E+04	5.90E+04	1.24E+05	0.174	0.522	4.000
57.00	～	46.50	2	4.67E+04	6.31E+04	1.26E+05	0.185	0.555	4.000
46.50	～	38.80	3	3.37E+05	4.56E+05	9.29E+05	0.173	0.519	4.000
38.80	～	34.70	4	1.78E+05	2.41E+05	5.55E+05	0.145	0.435	4.000
34.70	～	29.00	5	1.83E+05	2.47E+05	5.59E+05	0.139	0.417	4.000
29.00	～	20.30	6	3.20E+05	4.32E+05	9.29E+05	0.159	0.477	4.000
20.30	～	14.00	7	3.90E+05	5.25E+05	1.18E+06	0.174	0.522	4.000
14.00	～	8.20	8	6.62E+05	8.94E+05	1.68E+06	0.183	0.549	4.000

(b) EW方向

高さ EL.			要素番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)			－	(kN)			($\times 10^{-3}$ (－))		
63.65	～	57.00	1	4.08E+04	5.51E+04	1.16E+05	0.174	0.522	4.000
57.00	～	46.50	2	4.36E+04	5.89E+04	1.18E+05	0.185	0.555	4.000
46.50	～	38.80	3	2.46E+05	3.33E+05	7.13E+05	0.173	0.519	4.000
38.80	～	34.70	4	2.10E+05	2.83E+05	6.20E+05	0.162	0.486	4.000
34.70	～	29.00	5	2.17E+05	2.93E+05	6.26E+05	0.151	0.453	4.000
29.00	～	20.30	6	3.10E+05	4.19E+05	8.82E+05	0.143	0.429	4.000
20.30	～	14.00	7	3.56E+05	4.82E+05	1.02E+06	0.172	0.516	4.000
14.00	～	8.20	8	5.80E+05	7.83E+05	1.56E+06	0.182	0.546	4.000

表3-27 [redacted] のQ－γ関係

(a) NS方向

高さ EL.			要素番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)			－	(kN)			($\times 10^{-3}$ (－))		
40.64	～	28.00	1	6.32E+04	8.54E+04	1.18E+05	0.176	0.528	4.000
28.00	～	18.00	2	1.84E+05	2.51E+05	3.21E+05	0.228	0.684	4.000
18.00	～	8.20	3	4.54E+05	6.26E+05	8.18E+05	0.233	0.699	4.000

(b) EW方向

高さ EL.			要素番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)			－	(kN)			($\times 10^{-3}$ (－))		
40.64	～	28.00	1	1.03E+05	1.39E+05	2.37E+05	0.176	0.528	4.000
28.00	～	18.00	2	2.09E+05	2.91E+05	4.39E+05	0.213	0.639	4.000
18.00	～	8.20	3	3.82E+05	5.24E+05	7.58E+05	0.230	0.690	4.000

表3-28 [redacted] のQ－γ関係

(a) NS方向

高さ EL.			要素番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)			－	(kN)			($\times 10^{-3}$ (－))		
29.20	～	17.75	BM03	4.50E+04	6.07E+04	1.36E+05	0.198	0.594	4.0
17.75	～	8.30	BM02	6.05E+04	8.15E+04	1.56E+05	0.214	0.642	4.0

(b) EW方向

高さ EL.			要素番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)			－	(kN)			($\times 10^{-3}$ (－))		
29.20	～	17.75	BM03	4.19E+04	5.66E+04	1.14E+05	0.191	0.573	4.0
17.75	～	8.30	BM02	6.19E+04	8.37E+04	1.62E+05	0.197	0.590	4.0

表3-29　緊急時対策所建屋のＱ－γ関係

(a) NS方向

高さ EL.	要素番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)	-	(kN)			($\times 10^{-3}$ (－))		
43.50 ～ 51.00	1	1.18E+05	1.59E+05	2.96E+05	0.177	0.530	4.000
37.00 ～ 43.50	2	3.23E+05	4.35E+05	7.75E+05	0.181	0.542	4.000
30.30 ～ 37.00	3	3.29E+05	4.44E+05	7.56E+05	0.193	0.579	4.000
23.30 ～ 30.30	4	3.77E+05	5.10E+05	8.44E+05	0.205	0.614	4.000

(b) EW方向

高さ EL.	要素番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)	-	(kN)			($\times 10^{-3}$ (－))		
43.50 ～ 51.00	1	8.43E+04	1.14E+05	1.89E+05	0.177	0.530	4.000
37.00 ～ 43.50	2	2.57E+05	3.46E+05	6.04E+05	0.179	0.538	4.000
30.30 ～ 37.00	3	2.69E+05	3.62E+05	6.05E+05	0.192	0.577	4.000
23.30 ～ 30.30	4	3.21E+05	4.34E+05	7.11E+05	0.204	0.613	4.000

設計荷重のうち，風圧力による荷重W_Wは，建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重W_Pは，建屋の内部から外部に作用し，建屋層全体の評価においては相殺される荷重であるが，保守的にW_Wと同じ方向にのみ作用すると見なす。

飛来物による衝撃荷重W_Mは，瞬間的に作用するものであり，またこれら建屋の質量が飛来物に対し十分に大きなものであることから，建屋の全体的な挙動に対する影響は軽微と考えられるため考慮しない。

(2)　原子炉建屋（鉄骨造部）

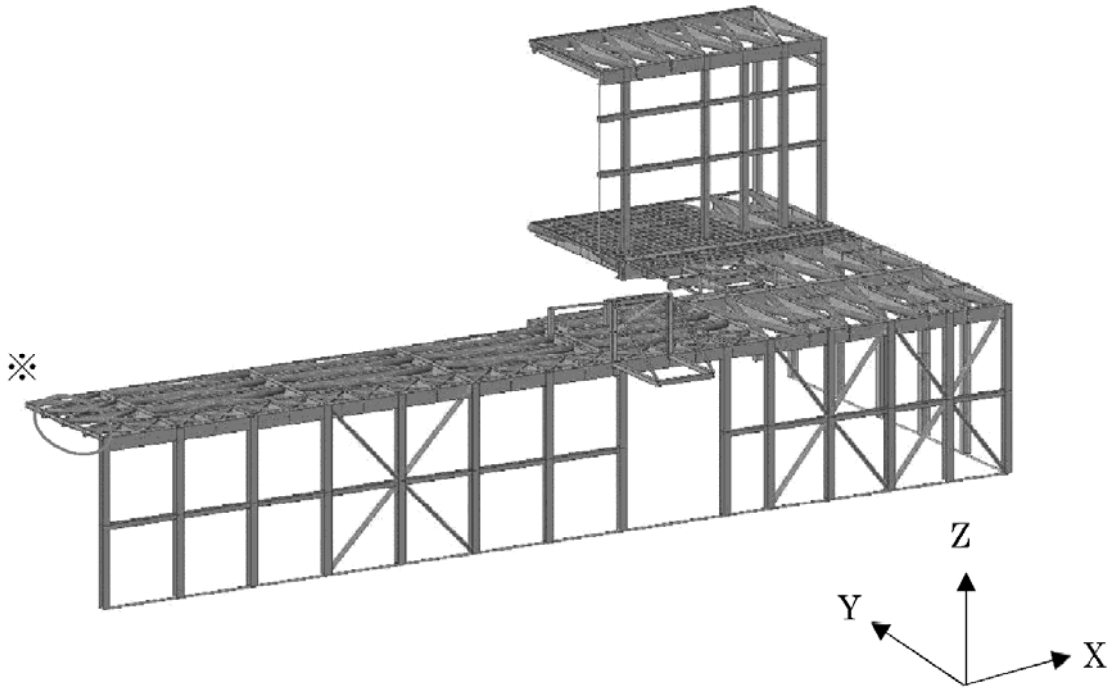
a.　鉄骨架構

原子炉建屋（鉄骨造部）のうち鉄骨架構については，図3-19に示す付属棟東部のモデルのように，原子炉建屋原子炉棟との接合部をピン支持とした3次元はりモデルについて，風圧力による荷重W_W，気圧差による荷重W_P及び常時作用する荷重F_dにより部材に発生する応力度を計算し，許容限界を超えないことを確認する。

飛来物による衝撃荷重W_Mについては，瞬間的に作用するものであり，当該部の質量は飛来物に対し十分に大きなものであること，また当該部は頑健な原子炉建屋（ＲＣ造部）に支えられた構造となっていることから，飛来物の衝突荷重で当該部の全体的な倒壊を起こすことは考え難いが，衝突による架構部材（鉄骨）の部分的な損傷を生じた場合には，その後に作用する自重若しくは風荷重により倒壊しないことが必要

となるため，飛来物の衝突荷重は，柱若しくははりの一本を喪失したものと置き換えたモデルとして考慮する。

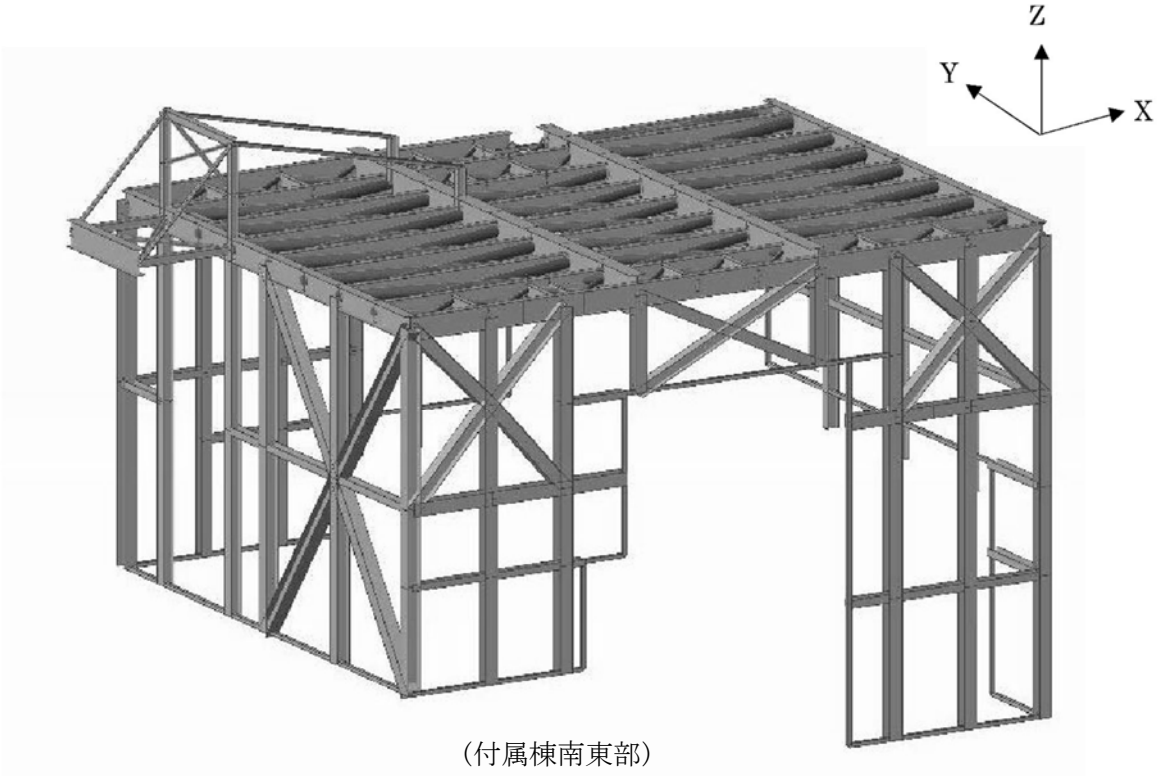
構造解析には，解析コード「ｍｉｄａｓ　ｉＧＥＮ」を用いる。なお，評価に用いた解析コード「ｍｉｄａｓ　ｉＧＥＮ」の検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-63　計算機プログラム（解析コード）の概要・ｍｉｄａｓ　ｉＧＥＮ」に示す。



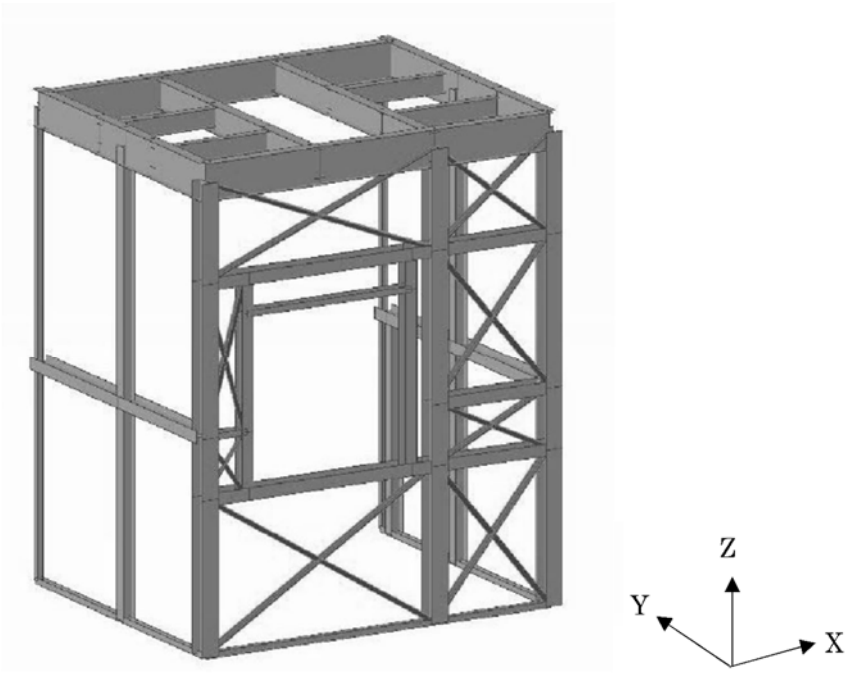
（付属棟東部及び隔離弁室②）

・水平床面はコンクリートスラブが配置されているため，ブレース置換により剛性評価を行う。
・周辺のＲＣ造躯体との接合部は，上図※部分を除いて境界条件をピンとする。
※部分はＸ方向にローラーとし，軸ブレースの地震時の評価を行う。

図3-19　原子炉建屋（鉄骨造部）の解析モデル図（1/2）



（付属棟南東部）



（隔離弁室①）

図3-19　原子炉建屋（鉄骨造部）の解析モデル図（2/2）

架構部材に発生する応力度は，表3-30に示す式にて算出する。

表 3-30　架構部材の応力度計算式

応力度の種類		単位	計算式
引張応力度　σ_t		N/mm^2	$\frac{N_t}{A}$
圧縮応力度　σ_c		N/mm^2	$\frac{N_c}{A}$
曲げ応力度　σ_{by}，σ_{bz}		N/mm^2	$\frac{M_y}{Z_y}$　，　$\frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力度　τ_y，τ_z		N/mm^2	$\frac{Q_y}{A_{sy}}$　，　$\frac{Q_z}{A_{sz}}$
組合せ応力度	圧縮＋曲げ	－	$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5f_c}+\frac{\sigma_{bx}+\sigma_{by}}{1.5f_b}\ ,\ \frac{\sigma_{bx}+\sigma_{by}-\sigma_c}{1.5f_t}\right)$
	引張＋曲げ	－	$\max\left(\frac{\sigma_t+\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_t}\ ,\ \frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_t}{1.5f_b}\right)$
	軸力（圧縮，引張）＋曲げ＋せん断	－	$\max\left(\frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_z^2}}{1.5f_t}\ ,\ \frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_y^2}}{1.5f_t}\right)$ 軸力が引張の場合は，σ_cをσ_tとする。

ここで，

A　　：断面積(mm)
Z_y，Z_z　　：断面係数(y，z 軸回り)(mm)
A_{sy}，A_{sz}　　：せん断断面積(y，z)(mm)
N_t，N_c　　：軸力(引張，圧縮)(N)
M_y，M_z　　：曲げモーメント(y，z 軸回り)(N・mm)
Q_y，Q_z　　：せん断力(y，z 軸)(N)

b.　外装板

原子炉建屋（鉄骨造部）のうち外装板については，図3-20に示すように，鉄骨架構にボルト止めしたパネルを嵌め合わせた構造となっている。これについて，風圧力による荷重W_W，気圧差による荷重W_P及び常時作用する荷重F_dにより発生する曲げモーメント及びせん断力を計算し，許容限界を超えないことを確認する。

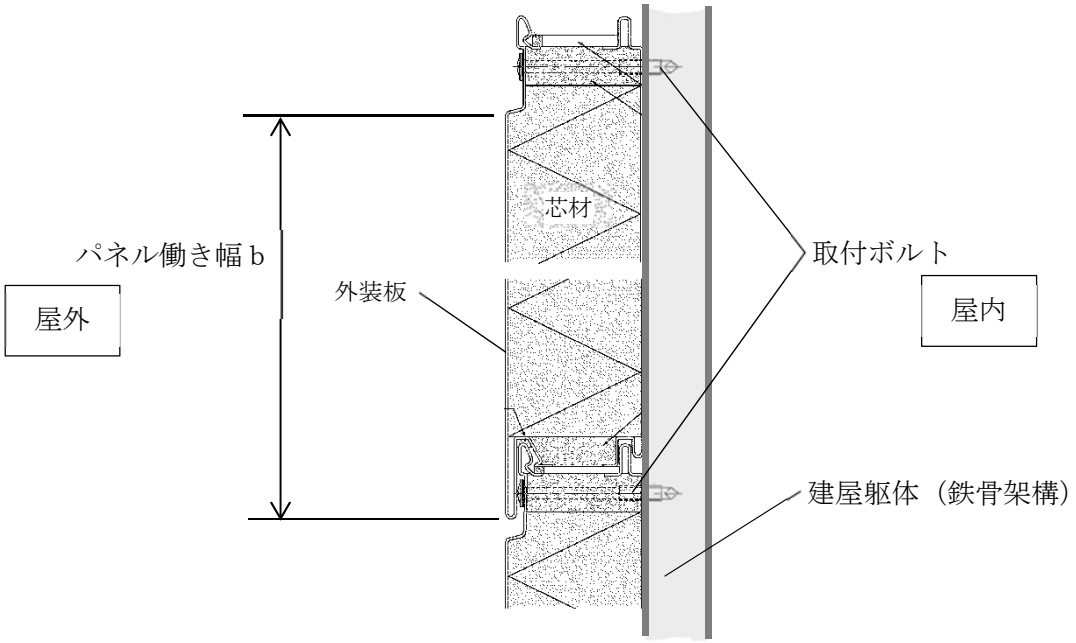


図3-20　原子炉建屋（鉄骨造部）のうち外装板の取付構造

設計荷重に対する外装板の脱落防止の観点からは，図3-21に示すような，気圧差による荷重W_Pにより屋内から屋外の向きに発生する，外装板の曲げ及び取付ボルトの引張が支配的であるため，次式にて曲げ応力度及び取付ボルトに作用する荷重を算定する。

取付幅ℓの外装板における最大曲げ応力度

$$M=\frac{\Delta P \cdot \ell^2}{8 \cdot Z}$$

ΔＰ：気圧差による荷重

Ｚ：外装板の断面係数

外装板１枚当たりの，気圧差による面外方向荷重

$F = l \cdot b \cdot \Delta P$

ｂ：外装板の働き幅

取付ボルト１本当たりに生じる最大引張荷重

$R_1 = 1.1F$

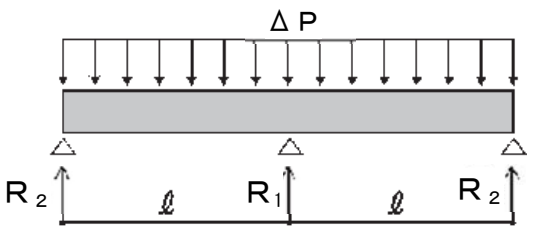


図 3-21　気圧差により外装板に作用する荷重

(3) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブについて，風圧力による荷重W_W，気圧差による荷重W_P及び常時作用する荷重F_dにより発生する曲げモーメント及びせん断力を計算し，許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブは，鋼製はりにスタッドを介して接続しているため，はり位置を支持点とした一方向版とし，両端固定はりとして評価する。スタッドに作用する引張力は，単位幅の屋根スラブに生じるせん断力を当該範囲のスタッドが均等に負担するものとして評価する。

屋根スラブに発生する曲げモーメントM及びせん断力Q並びにスタッドに発生する引張力Tの算定式を以下に示す。また，屋根スラブに作用する荷重の概要を図3-22に示す。

単位幅の屋根スラブに発生する曲げモーメント

$$M=\frac{\left(\omega_T-\omega_d\right)\cdot L^2}{12}$$

単位幅の屋根スラブに発生するせん断力

$$Q=\frac{\left(\omega_T-\omega_d\right)\cdot L}{2}$$

スタッド1本当たりに発生する引張力

$$T=Q\cdot\frac{p}{1000}$$

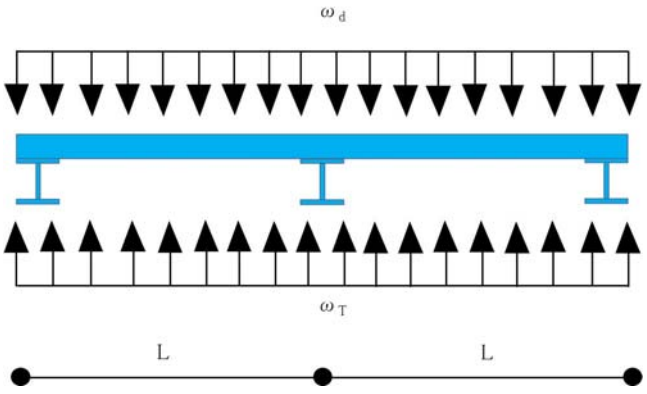


図3-22　屋根スラブに作用する荷重の概要

許容限界である終局強度については，「RC規準」に基づき算定する。

スタッドの許容引張力は，「各種合成構造指針」に準拠し，スタッドの降伏により定まる許容引張力P_{a1}，コンクリート部のコーン状破壊により定まる許容引張力P_{a2}及びコンクリート部の支圧破壊により定まる許容引張力P_{a3}のうち，最も小さい値とする。

屋根スラブの許容曲げモーメントM_a，許容せん断力Q_a及びスタッドの許容引張力P_aの算定式を以下に示す。

$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$

$Q_a = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$

$P_a = \min(P_{a1}, P_{a2}, P_{a3})$

(4) 扉

原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟閉状態を維持する部材について，気圧差による荷重W_Pにより発生する応力度を算出し，許容限界を超えないことを確認する。

下記の扉を評価対象とする。

水密扉

・原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)
・原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉
・原子炉建屋付属棟1階東側水密扉
・原子炉建屋付属棟1階南側水密扉
・原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉
・原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉
・原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉
・原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉
・原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉
・空調機械室搬入口扉
・空調機械室搬入口扉（潜戸）
・原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉

a. 原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉及び原子炉建屋付属棟1階東側水密扉に関する評価

(a) 応力評価

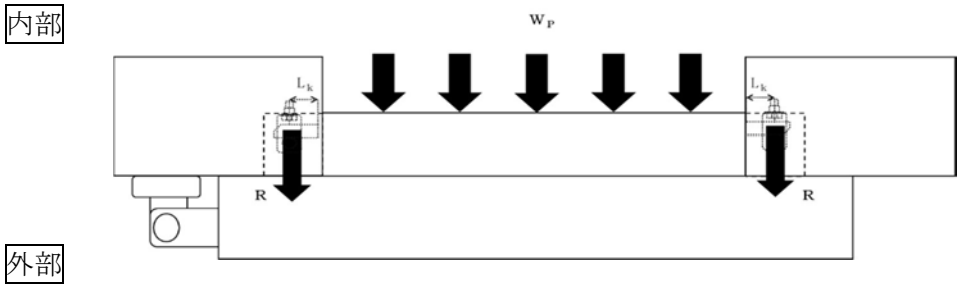
原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉及び原子炉建屋付属棟1階東側水密扉について，カンヌキ部（カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト）に掛かる曲げ，せん断及び引張荷重をモデル化し，評価を行う。カンヌキ部に作用する荷重，発生曲げモーメント，発生せん断力及び発生引張力の算定式を以下に示す。

イ. カンヌキ部に生じる荷重

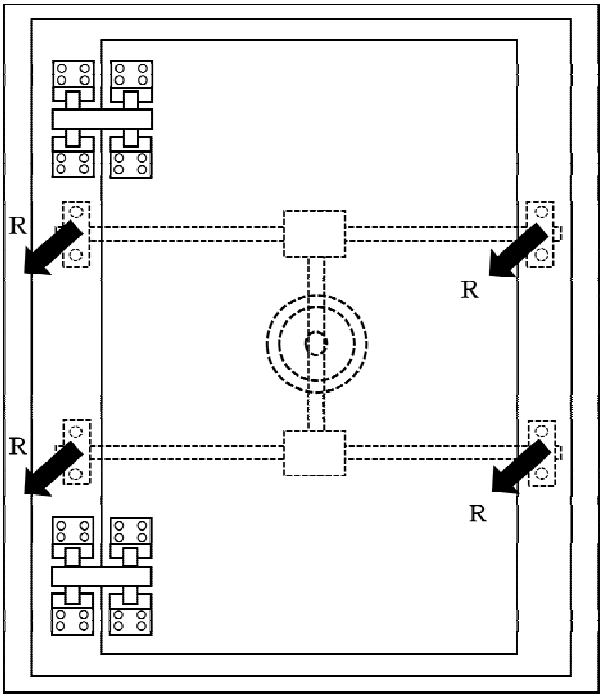
カンヌキ部に生じる荷重は気圧差による荷重W_Pをカンヌキ部で負担した場合に発生する反力Rから算定する。カンヌキ部に生じる荷重を図3-23に示す。

$$W_P = \Delta P \cdot A_d$$

$$R = \frac{W_P}{n_k}$$



＜扉平面図＞



＜扉立面図＞

図3-23　カンヌキ部に生じる荷重

ロ．　カンヌキ

カンヌキ部の詳細図を図3-24に示す。カンヌキに生じる曲げモーメントM_k及びせん断力Q_kは次式により算定する。

$$M_k = R \cdot L_k$$

$$Q_k = R$$

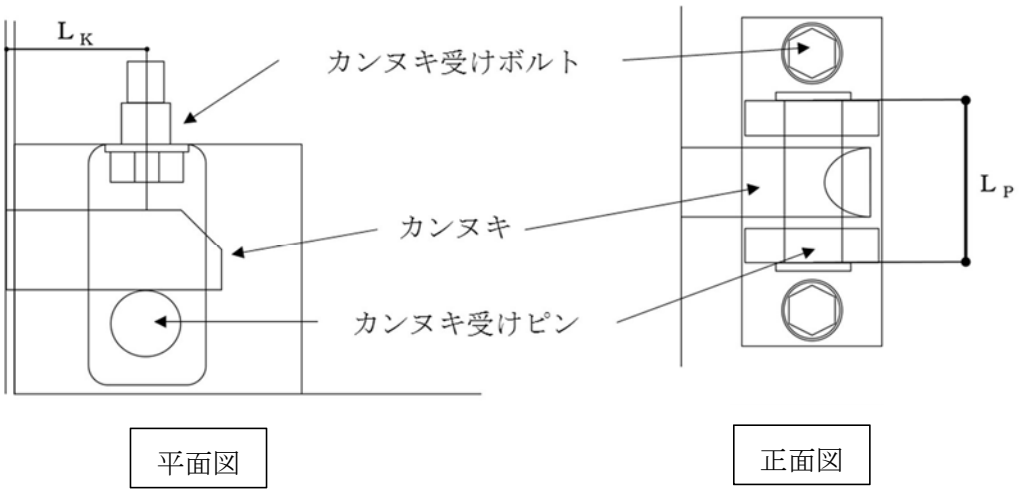


図3-24　カンヌキ部詳細図

ハ．　カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメントM_pとせん断力Q_pは次式により算定する。

$$M_p = \frac{R \cdot L_P}{4}$$

$$Q_p = R$$

ニ．　カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張力Tは以下のとおりである。

$$T = R$$

(b)　断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度が許容限界以下であることを確認する。なお，異なる荷重が同時に作用する部材については，組合せを考慮する。

評価対象部位の許容限界を表3-31に示す。

イ．　カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から組合せ応力度を算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M_k}{Z_k}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_k}{A_k}\right)^2}$$

ロ．　カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し，許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M_p}{Z_p}$$

$$\tau = \frac{Q_p}{2 \cdot A_p}$$

ハ．　カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を算定し，許容限界以下であることを確認する。ｎはカンヌキ受けボルトの本数である。

$$\sigma_t = \frac{T}{(n \cdot A_b)}$$

表3-31　評価対象部位の許容限界

評価対象部材		材質	許容限界(N/mm²)	
			曲げ・引張	せん断
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304	205	－
	カンヌキ受けピン	S45C	345	199
	カンヌキ受けボルト	SCM435	651	－

b.　原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉，空調機械室搬入口扉及び空調機械室搬入口扉（潜戸）についての評価

(a)　応力評価

評価対象扉について，カンヌキ部（カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト）に掛かる曲げ，せん断及び引張荷重をモデル化し，評価を行う。ヒンジ部及びカンヌキ部に作用する荷重，発生曲げモーメント，発生せん断力及び発生引張力の算定式を以下に示す。

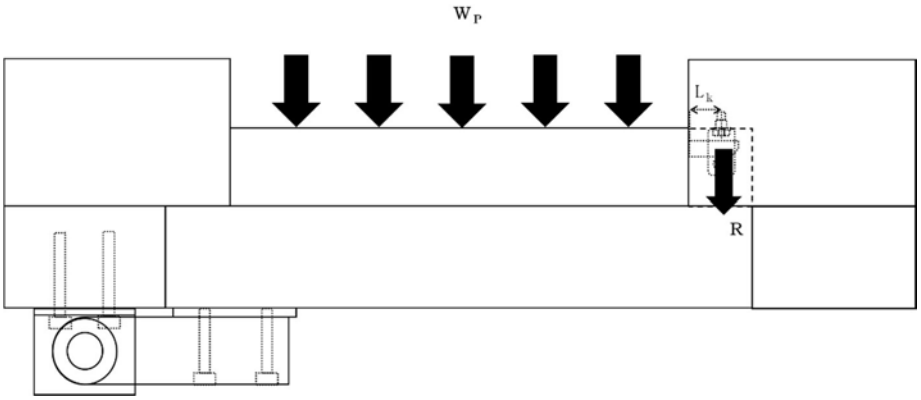
イ．　カンヌキ部に生じる荷重

カンヌキ部に生じる荷重は，気圧差による荷重W_Pをカンヌキ部で負担した場合に発生する反力Ｒから算定する。カンヌキ部に生じる荷重を図3-25に示す。

$$W_P = \Delta P \cdot A_d$$

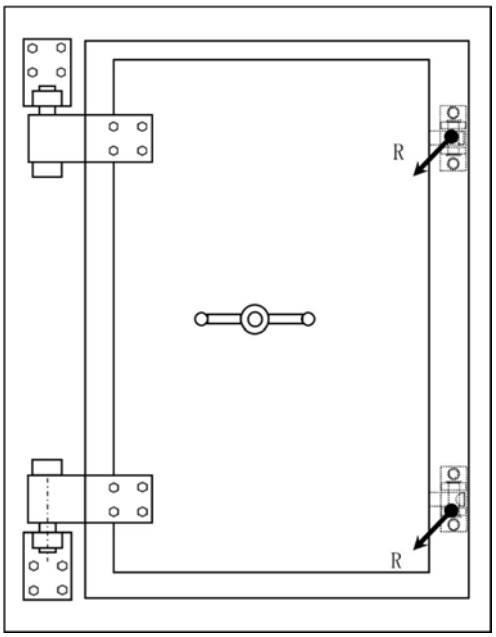
$$R = \frac{W_P}{n_k + n_h}$$

内部



外部

＜扉平面図＞



＜扉立面図＞

図3-25　カンヌキ部に生じる荷重

ロ．　カンヌキ

カンヌキ部の詳細図を図3-26に示す。カンヌキに生じる曲げモーメントM_k及びせん断力Q_kは次式により算定する。

$M_k = R \cdot L_k$

$Q_k = R$

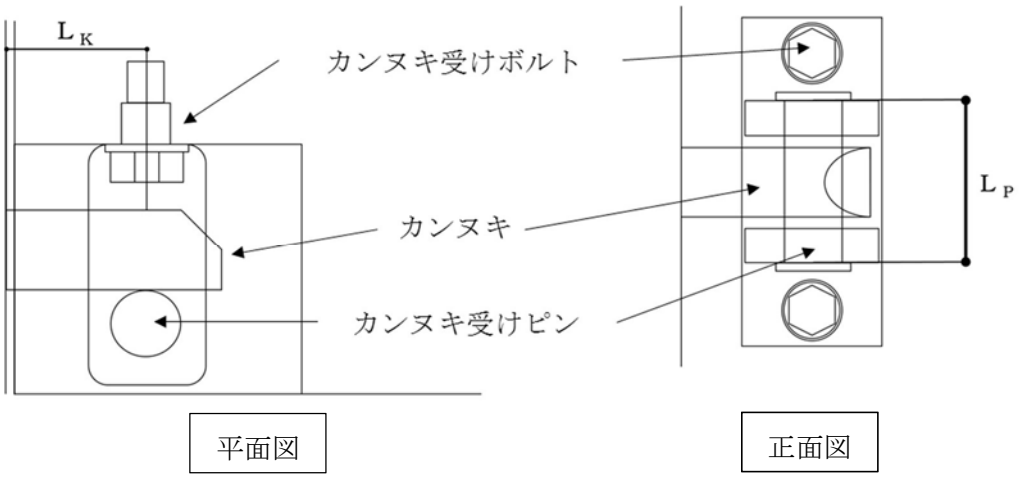


図3-26　カンヌキ部詳細図

ハ．　カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメントM_pとせん断力Q_pは次式により算定する。

$$M_p = \frac{R \cdot L_P}{4}$$

$$Q_p = R$$

ニ．　カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張力Ｔは以下のとおりである。

$$T = R$$

(b)　断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度が許容限界以下であることを確認する。なお，異なる荷重が同時に作用する部材については，組合せを考慮する。

評価対象部位の許容限界を表3-32に示す。

イ．　カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から組合せ応力度を算定し，許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M_k}{Z_k}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_k}{A_k}\right)^2}$$

ロ．　カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し，許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M_p}{Z_p}$$

$$\tau = \frac{Q_p}{2 \cdot A_p}$$

ハ．　カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を算定し，許容限界以下であることを確認する。ｎはカンヌキ受けボルトの本数である。

$$\sigma_t = \frac{T}{(n \cdot A_b)}$$

表3-32　評価対象部位の許容限界

評価対象部材		材質	許容限界（N/mm²）	
			曲げ・引張	せん断
カンヌキ部	カンヌキ	SCM435	651	－
		SUS304	205	－
	カンヌキ受けピン	SCM440	686	396
		S45C	345	199
	カンヌキ受けボルト	SCM435	651	－

c．　原子炉建屋付属棟南側水密扉及び原子炉建屋付属棟西側非常用階段連絡口扉についての評価

(a)　応力評価

評価対象扉について，カンヌキ部（カンヌキバー及びカンヌキ受けボルト）に掛かる曲げ，せん断及び引張荷重をモデル化し，評価を行う。カンヌキ部に作用する荷重，発生曲げモーメント，発生せん断力及び発生引張力の算定式を以下に示す。

イ．　カンヌキ部に生じる荷重

カンヌキ部に生じる荷重は，気圧差による荷重W_Pをヒンジ部及びカンヌキ部で負担した場合に発生する反力Ｒから算定する。カンヌキ部に生じる荷重を図3-27に示す。

$$W_P = \Delta P \cdot A_d$$

$$R = \frac{W_P}{n_k + n_h}$$

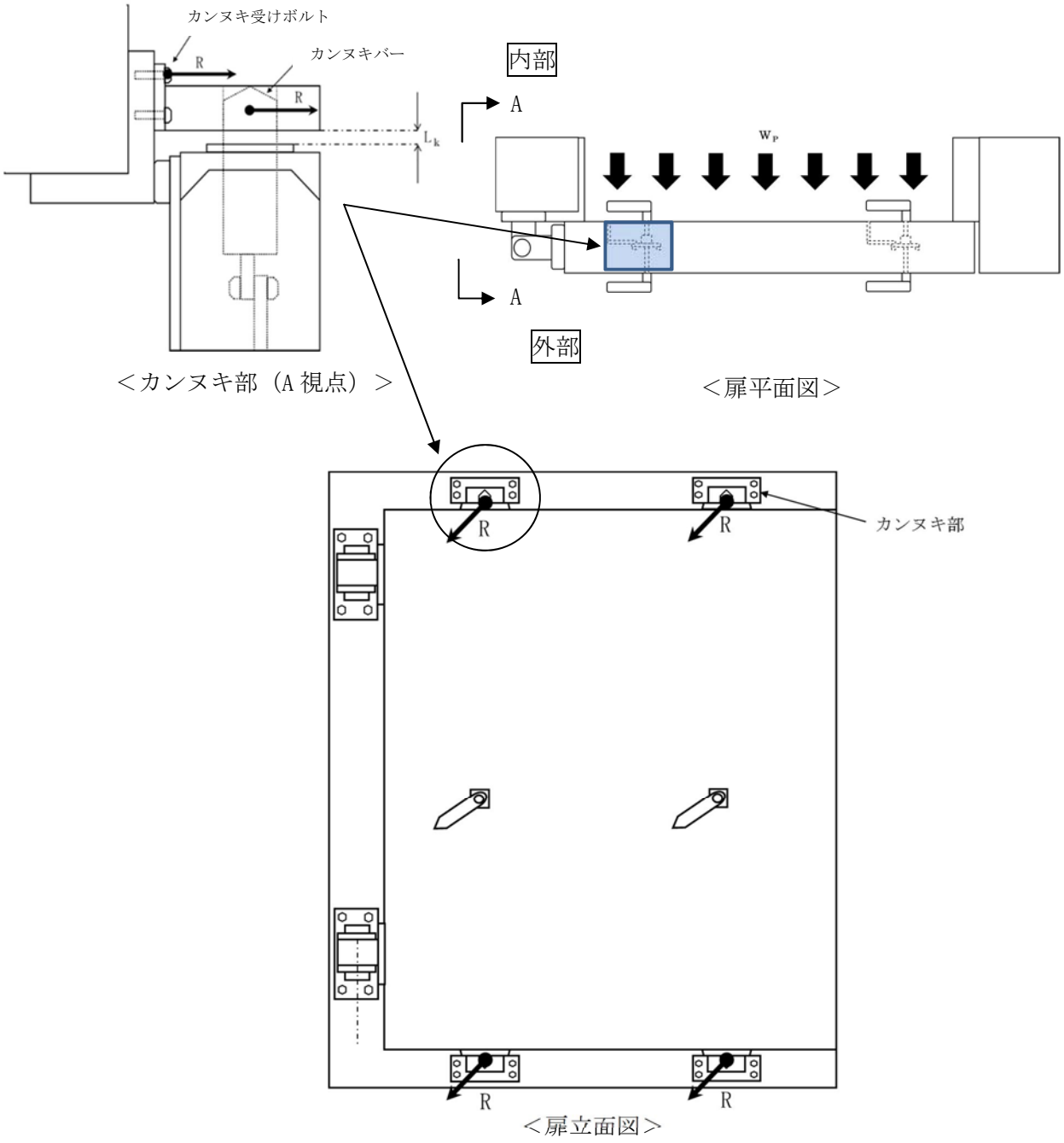


図3-27　カンヌキ部に生じる荷重

ロ．　カンヌキバー

カンヌキバーに生じる曲げモーメントM_1は次式により算定する。

$$M_1 = R \cdot L_k$$

ハ．　カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張力Tは以下のとおりである。

$$T = R$$

(b)　断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度が許容限界以下であることを確認する。

なお，異なる荷重が同時に作用する部材については，組合せを考慮する。

評価対象部位の許容限界を表3-33に示す。

イ．　カンヌキバー

カンヌキバーに生じる曲げ応力度を算定し，許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M_1}{Z_1}$$

ロ．　カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度T_1を次式により算定し，許容限界以下であることを確認する。ｎはカンヌキ受けボルトの本数である。

$$\sigma_t = \frac{T}{(n \cdot A_b)}$$

表3-33　評価対象部位の許容限界

評価対象部材		材質	許容限界（N/mm²）	
			曲げ・引張	せん断
カンヌキ部	カンヌキバー	SUS304N2	345	199
	カンヌキ受けボルト	SUS304	205	118

d.　原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉及び原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉についての評価

(a)　応力評価

評価対象扉について，パネル取付ボルト及びアンカーボルトに掛かるせん断及び引張荷重をモデル化し，評価を行う。パネル取付ボルト及びアンカーボルトに作用する荷重，発生せん断力及び発生引張力の算定式を以下に示す。

イ．　パネル取付ボルト及びアンカーボルトに生じる荷重

パネル取付ボルト及びアンカーボルトに生じる荷重は，気圧差による荷重W_Pをパネル取付ボルト及びアンカーボルトで負担した場合に発生する反力Ｒから算定する。

$$W_P = R = \Delta P \cdot A_d$$

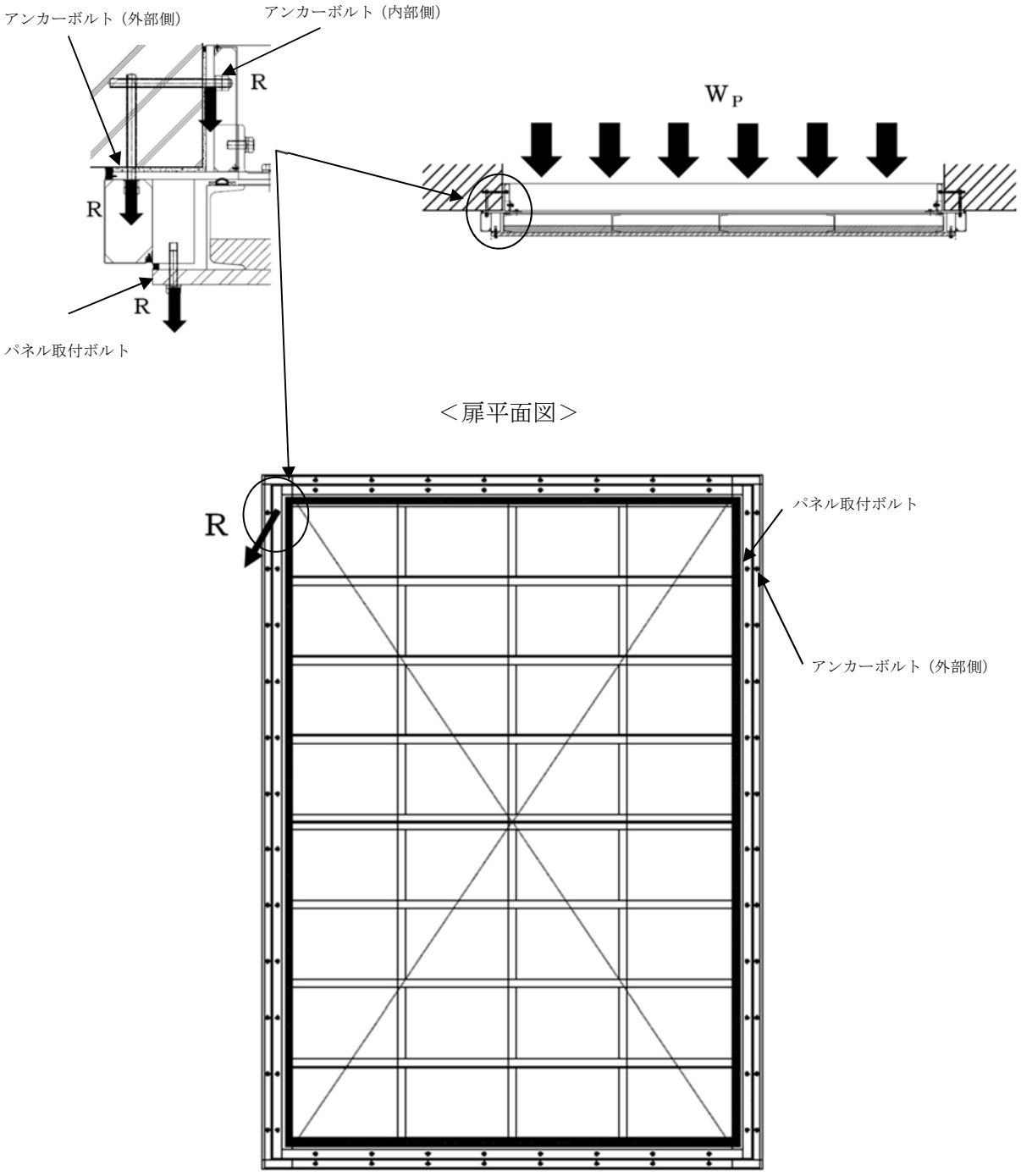


図3-28　原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉に生じる荷重
（扉枠体アンカーボルト固定）

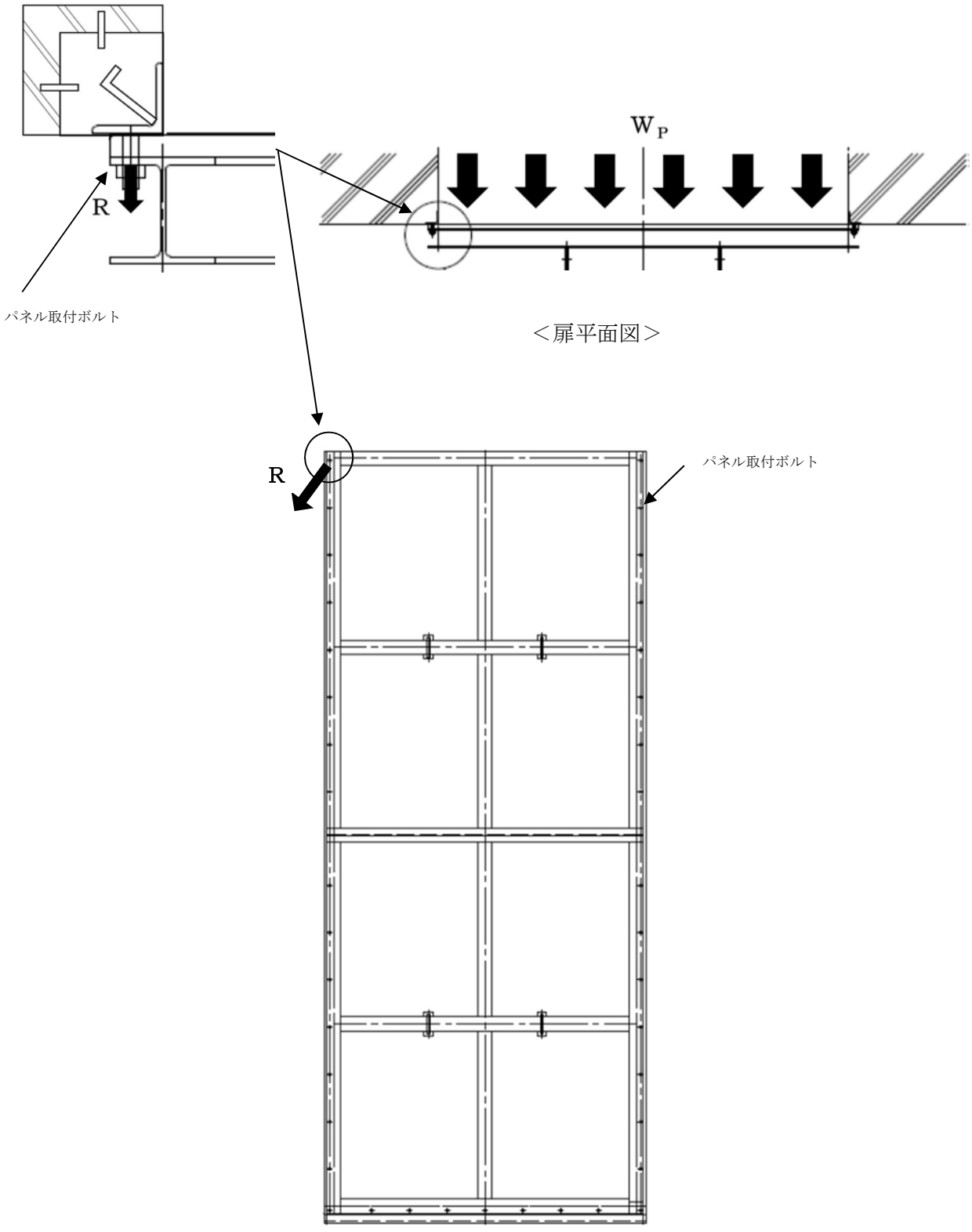
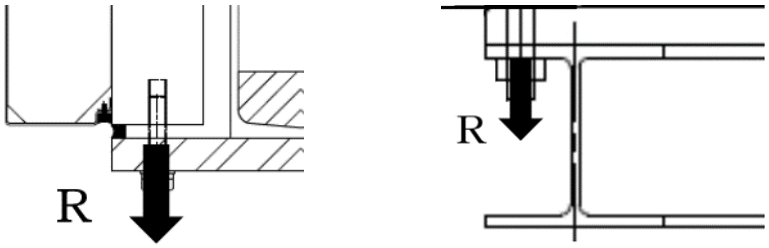


図3-29　原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉に生じる荷重
（扉枠体躯体埋込）

ロ．　パネル取付ボルト

パネル取付ボルトの詳細図を図3-30に示す。パネル取付ボルトに生じる引張力Ｔは次式により算定する。ｎはパネル取付ボルトの本数である。

$$T = \frac{R}{n}$$



＜扉枠アンカーボルト固定＞　　＜扉枠躯体埋込固定＞

図3-30　パネル取付部詳細図

ハ．　アンカーボルト（外部側）

アンカーボルト（外部側）の詳細図を図3-31に示す。アンカーボルト（外部側）に生じる引張力Ｔは次式により算定する。ｎはアンカーボルト（外部側）の本数である。

$$T = \frac{R}{n}$$

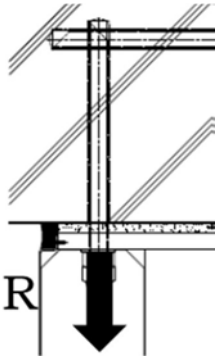


図3-31　アンカーボルト（外部側）詳細図

ニ．　アンカーボルト（内部側）

アンカーボルト（内部側）の詳細図を図3-32に示す。アンカーボルト（内部側）に生じるせん断力Ｑは次式により算定する。ｎはアンカーボルト（内部側）の本数である。

$$Q = \frac{R}{n}$$

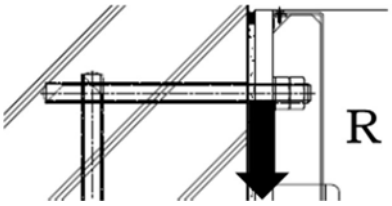


図3-32　アンカーボルト（内部側）詳細図

(b)　断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度が許容限界以下であることを確認する。なお，異なる荷重が同時に作用する部材については，組合せを考慮する。

評価対象部位の許容限界を表3-34に示す。

イ．　パネル取付ボルト

パネル取付ボルトに生じる引張応力度σ_tを次式により算定し，許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_t = \frac{T}{A_b}$$

ロ．　アンカーボルト（外部側）

アンカーボルト（外部側）に生じる引張応力度σ_tを次式により算定し，許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_t = \frac{T}{A_b}$$

ハ．　アンカーボルト（内部側）

アンカーボルト（内部側）に生じるせん断応力度τを次式により算定し，許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A_b}$$

表3-34　評価対象部位の許容限界

評価対象部材	材質	許容限界（N/mm^2）	
		引張	せん断
パネル取付ボルト	SUS304	205	118
アンカーボルト（外部側）	SS400	235	135
アンカーボルト（内部側）	SS400	235	135

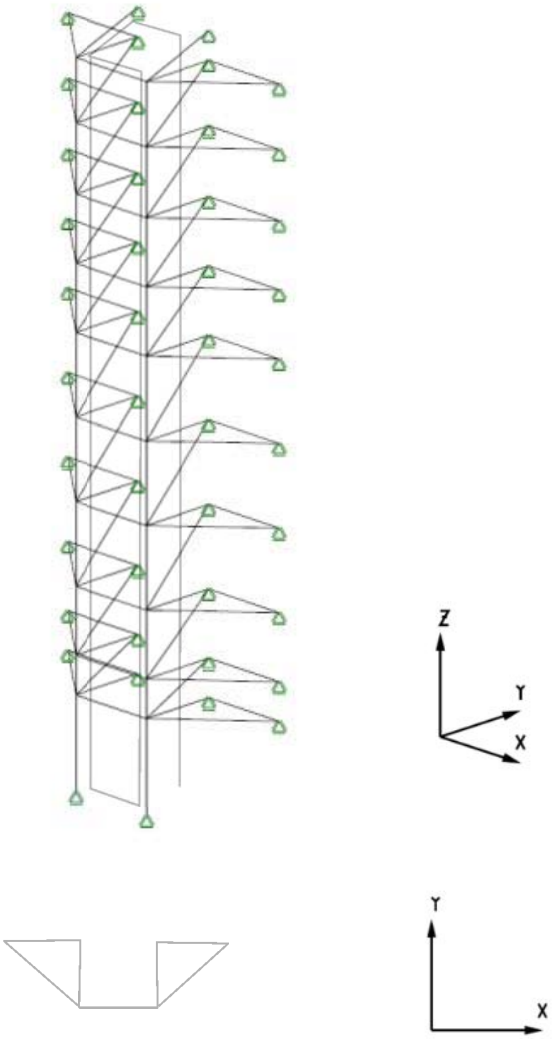
NT2 補② V-3-別添 1-1-1 R20

(5)　廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）

廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）のうち鉄骨架構については，図3-33に示す各モデルのような，廃棄物処理建屋との接合部をピン支持とした3次元はりモデルに対し，設計荷重により架構部材に発生する応力度を計算し，許容限界を超えないことを確認する。

架構部材に発生する応力度の算出式は，表3-30に示すとおり。

構造解析には，解析コード「ＫＡＮＳＡＳ２」を用いる。なお，評価に用いた解析コード「ＫＡＮＳＡＳ２」の検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-27　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＫＡＮＳＡＳ２」に示す。



（水平断面）

図 3-33　廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）の解析モデル図

4.　評価条件

「3.　強度評価方法」に用いる評価条件を，以下に示す。

4.1　衝突評価

4.1.1　式による評価（ＲＣ造部）

ＲＣ造部の貫通評価式に用いる条件を表4-1に示す。

表4-1　貫通評価式に用いる入力値（ＲＣ造部）

記号	記号の説明		数値		単位
α_e	低減係数	鋼製材	1.0		－
		車両	0.60		－
d	飛来物直径	鋼製材	27.6		cm
		車両	338.5		cm
F_c	コンクリートの設計基準強度		原子炉建屋	225	kg/cm^2
			タービン建屋	225	
			使用済燃料乾式貯蔵建屋	240	
			軽油貯蔵タンクタンク室	408	
			海水ポンプエリア防護壁	244	
			緊急時対策所建屋	306	
N	飛来物の形状係数	鋼製材	1.14		－
		車両	0.72		－
D	飛来物直径密度 W/d^3	鋼製材	6.42×10^{-3}		kg/cm^3
		車両	1.29×10^{-4}		kg/cm^3
W	飛来物重量	鋼製材	135		kg
		車両	5000		kg
V	飛来物の衝突速度	鋼製材	水平	51	m/s
			鉛直	34	
		車両	水平	52	m/s
			鉛直	－*	

注記　＊：表3-6を参照

4.1.2　式による評価（鋼製部）

鋼製部の貫通評価式に用いる条件を表4-2に示す。

表4-2　衝突評価に用いる入力値（鋼製部）

記号	記号の説明		数値		単位
d	飛来物直径	鋼製材	7.90		cm
k	鋼板の材質に関する係数		1		－
M	飛来物重量	鋼製材	135		kg
V	飛来物の衝突速度	鋼製材	水平	51	m/s
			鉛直	34	
t_1	原子炉建屋原子炉棟水密扉の板厚（大扉外側カバープレート）		0.0032		m
t_2	原子炉建屋原子炉棟水密扉の板厚（大扉スキンプレート）		0.0280		m
t_3	原子炉建屋原子炉棟水密扉の板厚（大扉内側カバープレート）		0.0032		m
t_4	機器搬入口内側扉の板厚（フェースプレート）		0.0060		m
—	設計飛来物の運動エネルギ		175.6		kJ

4.1.3　原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの衝突評価における，「3. 強度評価方法」に用いる「ＬＳ－ＤＹＮＡ」によるＦＥＭ解析の解析ケースを以下に示す。

飛来物の衝突位置は，衝突時間が長く，被衝突部材に伝達するエネルギが大きくなるように部材長さ（支持スパン）が最大となる位置（中央部）とする。飛来物の衝突方向は鉛直とし，衝突位置のスパンに合わせて，屋根に対して最小断面積で衝突する場合（縦衝突）とする。

解析ケースを表4-3に，解析ケース図を図4-1に示す。

表4-3　解析ケース（原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ衝突評価）

評価対象	飛来物	衝突箇所	飛来物の衝突方向	対象部材
原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ	鋼製材	中央部	鉛直：縦	躯体コンクリート（最小部：□mm） 鉄筋（D13@180,200）

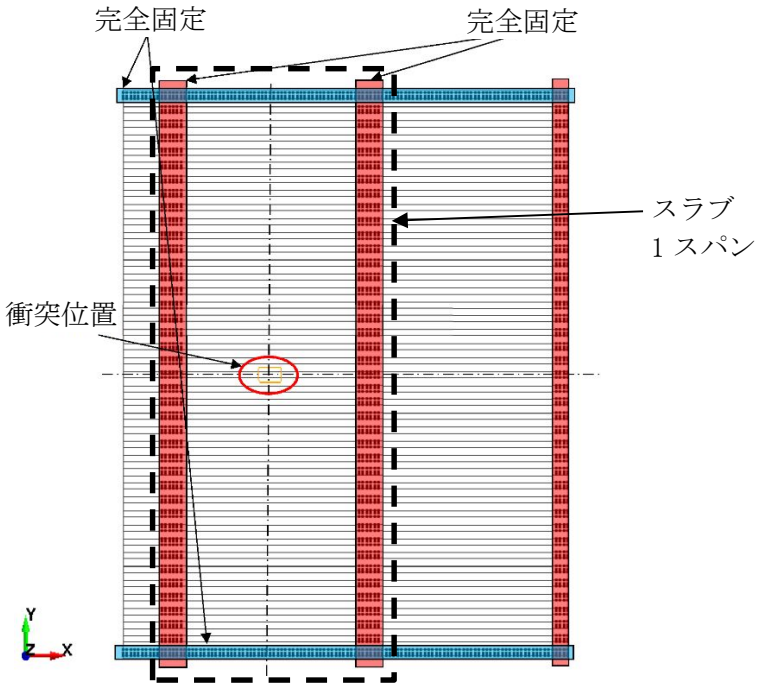


図4-1　解析ケース図

4.2　裏面剥離評価

4.2.1　式による評価

裏面剥離評価式に用いる条件を表 4-4 に示す。

表4-4　裏面剥離評価式に用いる入力値

記号	記号の説明		数値		単位
α_s	低減係数	鋼製材	1.0		—
		車両	0.55		
V_0	飛来物基準速度	鋼製材	60.96		m/s
		車両	60.96		
d	飛来物直径	鋼製材	27.6		cm
		車両	338.5		
f_c'	コンクリートの設計基準強度		原子炉建屋	225	kgf/cm^2
			タービン建屋	225	
			使用済燃料乾式貯蔵建屋	240	
			軽油貯蔵タンクタンク室	408	
			海水ポンプエリア防護壁	244	
			緊急時対策所建屋	306	
W	飛来物重量	鋼製材	135		kgf
		車両	5000		
V	飛来物の衝突速度	鋼製材	水平	51	m/s
			鉛直	34	
		車両	水平	52	
			鉛直	—*	

注記　＊：表3-4を参照

4.2.2　原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

解析ケースは，衝突評価に同じ。

4.2.3　原子炉建屋原子炉棟外壁

原子炉建屋原子炉棟外壁の裏面剥離評価における，「3. 強度評価方法」に用いる「ＬＳ－ＤＹＮＡ」によるＦＥＭ解析の解析ケースを以下に示す。

飛来物の衝突位置は，衝突時間が長く，被衝突部材に伝達するエネルギが大きくなるように部材長さ（支持スパン）が最大となる位置（中央部）とする。飛来物の衝突方向は鉛直とし，衝突位置のスパンに合わせて，建屋外壁に対して最小断面積で衝突する場合（縦衝突）とする。

解析ケースを表4-5に，解析ケース図を図4-2に示す。

表4-5　解析ケース（原子炉建屋原子炉棟外壁裏面剥離評価）

評価対象	飛来物	衝突箇所	飛来物の衝突方向	対象部材
原子炉建屋原子炉棟外壁	鋼製材	中央部	鉛直：縦	躯体コンクリート（□mm） 鉄筋(D19@200)

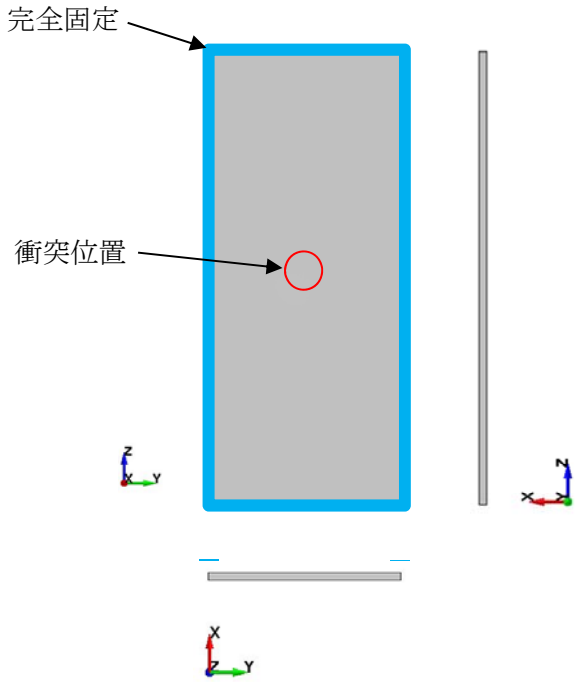


図4-2　解析ケース図（原子炉建屋原子炉棟外壁裏面剥離評価）

4.2.4　使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁

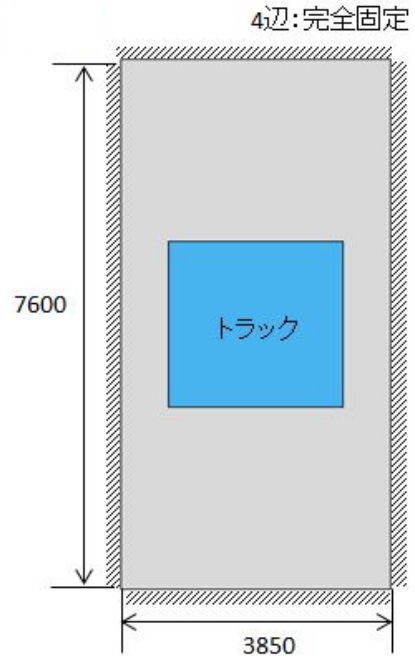
使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁の裏面剥離評価における，「3.　強度評価方法」に用いる「ＬＳ－ＤＹＮＡ」によるＦＥＭ解析の解析ケースを以下に示す。

飛来物の衝突位置は，衝突時間が長く，被衝突部材に伝達するエネルギが大きくなるように部材長さ（支持スパン）が最大となる位置（中央部）とする。飛来物の衝突方向は鉛直とし，衝突位置のスパンに合わせて，建屋外壁に対して最小断面積で衝突する場合（縦衝突）とする。

解析ケースを表4-6に，解析ケース図を図4-3に示す。

表4-6　解析ケース（使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁裏面剥離評価）

評価対象	飛来物	衝突箇所	飛来物の衝突方向	対象部材
使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁	車両	中央部	鉛直：縦	躯体コンクリート（[redacted]mm） 鉄筋(D22@250)



（単位 mm）

図4-3　解析ケース図（使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁裏面剥離評価）

4.3　変形評価

(1)　外壁

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋，緊急時対策所建屋及び廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備の変形評価に用いる条件を表4-7～表4-11に示す。

表4-7 [redacted] 変形評価の評価条件（1/4）（ＲＣ造部）

質点	高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*	受圧面積(m²)	
				N-S 方向	E-W 方向
1	63.65	風上	0.8	331	354
		風下	0.4		
2	57.00	風上	0.8	447	478
		風下	0.4		
3	46.50	風上	0.8	328	351
		風下	0.4		
4	38.80	風上	0.8	175	187
		風下	0.4		
5	34.70	風上	0.8	266	283
		風下	0.4		
6	29.00	風上	0.8	581	570
		風下	0.4		
7	20.30	風上	0.8	430	432
		風下	0.4		
8	14.00	風上	0.8	396	398
		風下	0.4		

注記　＊：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。

表4-7 [redacted] 変形評価の評価条件（2/4）（鉄骨造部分：風荷重）

区画	高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*1	受圧面積(m²)	
				N-S 方向	E-W 方向
付属棟 南東部	22.0 ～ 35.0	風上	0.8	156	162
		風下	0.4		
付属棟 東部	14.0 ～ 22.0	風上	0.8	—*2	391
		風下	0.4		
隔離弁室 ①	22.0 ～ 30.0	風上	0.8	46	57
		風下	0.4		
隔離弁室 ②	22.0 ～ 30.0	風上	0.8	13	104
		風下	0.4		

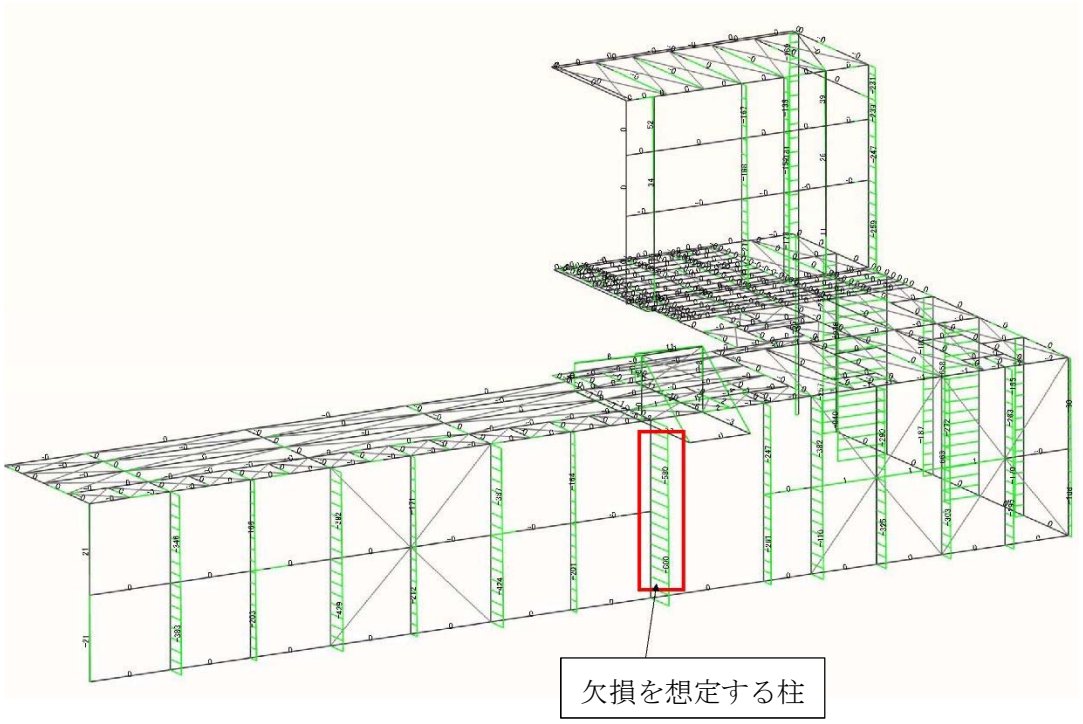
注記　＊1：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。
　　＊2：構造上，N－S方向に対し見附面を有しない。

表4-7 [redacted] 変形評価の評価条件（3/4）（鉄骨造部分：主要部材断面）

部材断面	材質	主な使用部位	許容限界(N/mm^2)			
			F	引張 1.5 f $_t$	圧縮 1.5 f $_c$	曲げ 1.5 f $_b$
H-350×350×12×19	SS400	柱	235	235	＊	
H-300×300×10×15	SS400	柱	235	235		
H-800×500×19×40	SM490A	梁	325	325		
H-800×300×16×32	SM490A	梁	325	325		
H-600×300×16×32	SM490A	梁	325	325		
H-600×200×11×17	SS400	梁	235	235		
H-500×200×10×16	SS400	梁	235	235		
H-300×150×6.5×9	SS400	梁	235	235		

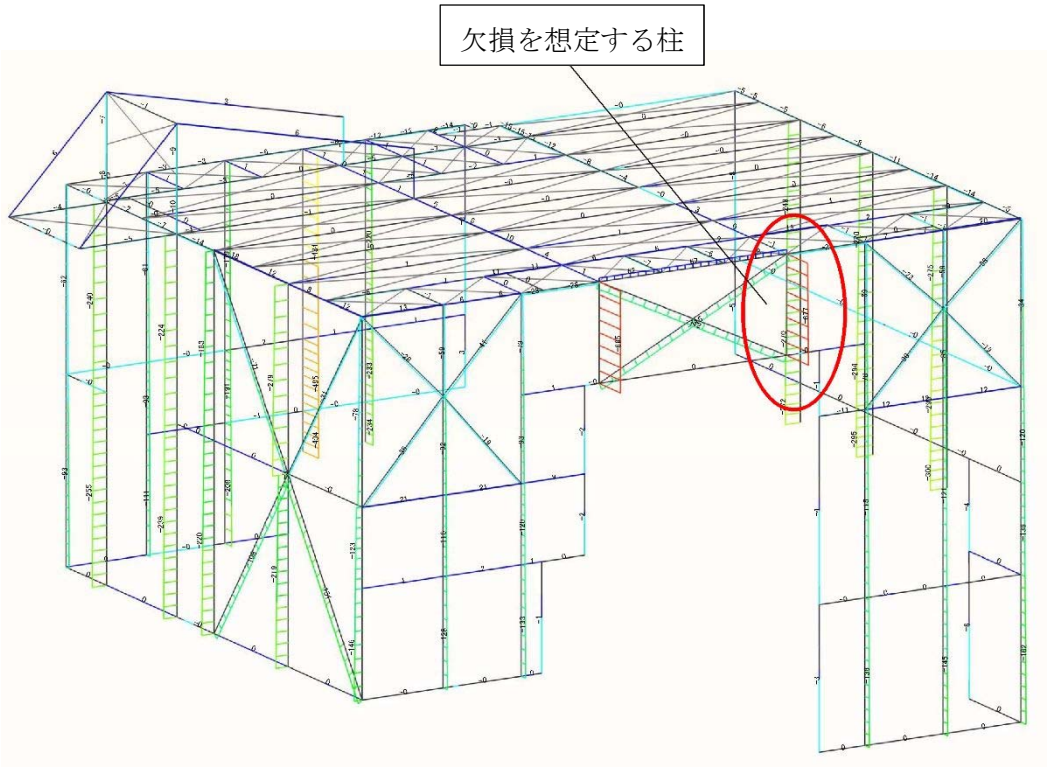
注記　＊：f $_c$及びf $_b$は，鋼構造設計規準の「5章　許容応力度」により定める。

原子炉建屋（鉄骨造部分）の竜巻評価における架構部材の欠損想定位置を図4-4に示す。当該部材は，竜巻時及び通常時（竜巻襲来後の状態）の状態において，架構を支える軸力が最大となる箇所を抽出した。

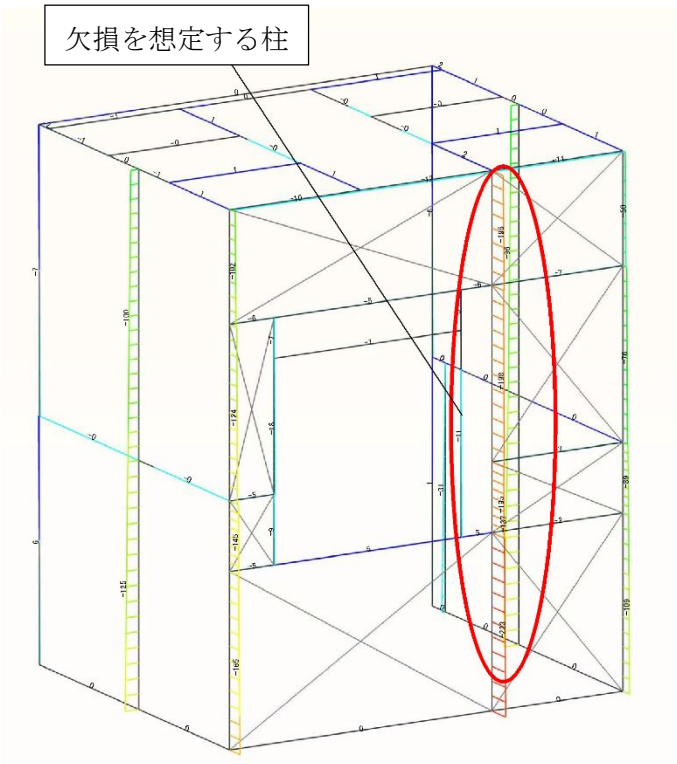


（付属棟東部及び隔離弁室②）

図4-4　欠損を想定する架構部材（1/2）



（付属棟南東部）



（隔離弁室①）

図4-4　欠損を想定する架構部材（2/2）

表4-7 [redacted] 変形評価の評価条件（4/4）（鉄骨造部分：外装板仕様）

項目	記号	数値	単位
外装板の取付幅	ℓ	450	mm
外装板の断面係数	Z	3.70×10^{4}	mm^3
外装板の働き幅	b	600	mm

表4-8 [redacted] 変形評価の評価条件

質点	高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*	受圧面積(m^2)	
				N-S 方向	E-W 方向
1	40.64	風上	0.8	1408	585
		風下	0.4		
2	28.00	風上	0.8	1129	733
		風下	0.4		
3	18.00	風上	0.8	1034	696
		風下	0.4		

注記　＊：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。

表4-9 [redacted] 変形評価の評価条件

質点	高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*	受圧面積(m^2)	
				N-S 方向	E-W 方向
BM03	29.20	風上	0.8	318	658
		風下	0.4		
BM02	17.75	風上	0.8	254	525
		風下	0.4		

注記　＊：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。

表4-10　緊急時対策所建屋変形評価の評価条件

質点	高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*	受圧面積(m^2)	
				N-S 方向	E-W 方向
1	51.00	風上	0.8	154	228
		風下	0.4		
2	43.50	風上	0.8	256	265
		風下	0.4		
3	37.00	風上	0.8	272	320
		風下	0.4		
4	30.30	風上	0.8	275	333
		風下	0.4		

注記　＊：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。

表4-11　廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備変形評価の評価条件（1/3）

（鉄骨造部分：風荷重）

高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*	受圧面積(m^2)	
			N-S 方向	E-W 方向
8.45 ～ 31.0	風上	0.8	72.2	62.4
	風下	0.4		

注記　＊：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。

表4-11　廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備変形評価の評価条件（2/3）

（鉄骨造部分：主要部材断面）

部材断面	材質	主な使用部位	許容限界(N/mm^2)			
			F	引張 $1.5f_t$	圧縮 $1.5f_c$	曲げ $1.5f_b$
H-175×175×7.5×11	SN400B	支柱，梁				
H-244×175×7×11	SN400B	梁	235	235	＊	
H-150×75×6.5×10	SS400	鉛直支持 ブレース	235	235		

注記　＊：f_c及びf_bは，鋼構造設計規準の「5章　許容応力度」により定める。

廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部分）の竜巻評価における架構部材の欠損想定位置を図4-5に示す。当該部材は，竜巻時において，設計荷重を負担する面積が最大となる箇所を抽出した。

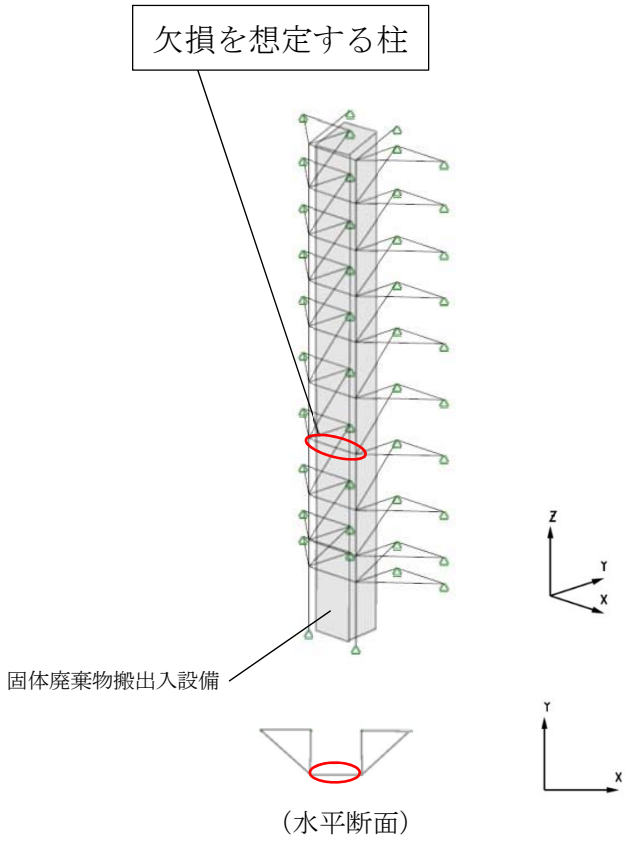


図 4-5　欠損を想定する架構部材

表4-11　廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備変形評価の評価条件（3/3）
（鉄骨造部分：外装板仕様）

項目	記号	値	単位
外装板の取付幅	ℓ	600	mm
外装板の断面係数	Z	3375	mm^3
外装板の働き幅	b	1000	mm

(2)　原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの変形評価に用いる条件を表4-12に示す。

表4-12　原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ変形評価の評価条件

記号	記号の説明	数値	単位
q	設計用速度圧	6100	N/m^2
C	風力係数	1.0	－
G	ガスト影響係数	1	－
ΔP	最大気圧低下量	8900	N/m^2
A_c	コーン状破壊面の有効投影面積	33123	mm^2
A_0	頭付きアンカーボルト頭部の支圧面積	442.3	mm^2
${}_{sc}a$	頭付きアンカーボルトの断面積で，軸部断面積とねじ部有効断面積の小さい方の値	284	mm^2
b	部材幅	1000	mm
d’	部材の有効せい	50	mm
L	屋根スラブの支持スパン	2270	mm
p	頭付きアンカーボルトの間隔	360	mm
D	頭付きアンカーボルト頭部の直径	30.4	mm
d	頭付きアンカーボルト軸部の直径	19	mm
F_c	コンクリートの設計基準強度	22.1	N/mm^2
f_n	コンクリートの支圧強度	132.6	N/mm^2
f_s	コンクリートの許容せん断応力度	1.06	N/mm^2
f_t	鉄筋の許容引張応力度	345	N/mm^2
a_t	引張鉄筋断面積	703.9	mm^2
j	応力中心間距離（j=(7/8)・d’）	43.8	mm
l_{ce}	頭付きアンカーボルトの強度計算用埋込み長さ（$l_{ce}=l_e$）	88.6	mm
l_e	頭付きアンカーボルトのコンクリート内への有効埋込み長さ	88.6	mm
${}_c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.457	N/mm^2
${}_s\sigma_{pa}$	頭付きアンカーボルトの引張強度	235	N/mm^2
${}_s\sigma_y$	頭付きアンカーボルトの規格降伏点強度	235	N/mm^2
ϕ_1	低減係数	1	－
ϕ_2	低減係数	0.67	－
ω_d	常時作用する荷重による単位幅当たりの荷重	3.37	kN/m
ω_{T1}	評価に用いる竜巻の荷重 W_{T1} による単位幅当たりの荷重	-8.9*	kN/m
ω_{T2}	評価に用いる竜巻の荷重 W_{T2} による単位幅当たりの荷重	-10.55*	kN/m

注記　＊：下向きの荷重を正の値とする。

(3) 扉

a. 原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)及び原子炉建屋付属棟1階東側水密扉

上記扉の変形評価に用いる条件を表4-13～表4-16に示す。

表4-13 原子炉建屋原子炉棟水密扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	水密扉受圧面積	30.2	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n_k	カンヌキ部箇所数	14	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	A_k	断面積	1963	mm^2
		L_k	軸支持間距離	66.0	mm
		Z_k	断面係数	12270	mm^3
	カンヌキ受けピン	A_p	断面積	490.9	mm^2
		L_p	軸支持間距離	91.0	mm
		Z_p	断面係数	1534	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト1本当たりの断面積	157	mm^2
		n	ボルト本数	2	本

表4-14 原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	水密扉受圧面積	3.61	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n_k	カンヌキ部箇所数	4	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	A_k	断面積	1963	mm^2
		L_k	軸支持間距離	106.0	mm
		Z_k	断面係数	12270	mm^3
	カンヌキ受けピン	A_p	断面積	314.2	mm^2
		L_p	軸支持間距離	79.0	mm
		Z_p	断面係数	785.4	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト1本当たりの断面積	157	mm^2
		n	ボルト本数	2	本

表4-15　原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	水密扉受圧面積	1.85	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n_k	カンヌキ部箇所数	4	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	A_k	断面積	1963	mm^2
		L_k	軸支持間距離	95.0	mm
		Z_k	断面係数	12270	mm^3
	カンヌキ受けピン	A_p	断面積	314.2	mm^2
		L_p	軸支持間距離	90.0	mm
		Z_p	断面係数	785.4	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト1本当たりの断面積	157	mm^2
		n	ボルト本数	2	本

表4-16　原子炉建屋付属棟1階東側水密扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	水密扉受圧面積	4.84	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n_k	カンヌキ部箇所数	6	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	A_k	断面積	1963	mm^2
		L_k	軸支持間距離	106	mm
		Z_k	断面係数	12270	mm^3
	カンヌキ受けピン	A_p	断面積	314.2	mm^2
		L_p	軸支持間距離	79.0	mm
		Z_p	断面係数	785.4	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト1本当たりの断面積	157	mm^2
		n	ボルト本数	2	本

b.　原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉，空調機械室搬入口扉及び空調機械室搬入口扉（潜戸）

上記扉の変形評価に用いる条件を表4-17～表4-19に示す。

表4-17　原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉及び原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	扉受圧面積	1.49	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n_k	カンヌキ部箇所数	2	箇所
		n_h	ヒンジ部箇所数	2	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	A_k	断面積	1963	mm^2
		L_k	軸支持間距離	75	mm
		Z_k	断面係数	12270	mm^3
	カンヌキ受けピン	A_p	断面積	314.2	mm^2
		L_p	軸支持間距離	80	mm
		Z_p	断面係数	785.4	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト1本当たりの断面積	157	mm^2
		n	ボルト本数	2	本

表4-18　空調機械室搬入口扉の変形評価の評価条件*

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	扉受圧面積	17.42	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n_k	カンヌキ部箇所数	4	箇所
		n_h	ヒンジ部箇所数	2	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	A_k	断面積	1963	mm^2
		L_k	軸支持間距離	65	mm
		Z_k	断面係数	12270	mm^3
	カンヌキ受けピン	A_p	断面積	490.9	mm^2
		L_p	軸支持間距離	91	mm
		Z_p	断面係数	1534	mm^3

注記　＊：カンヌキ受けボルトは気圧差による荷重により発生する反力で躯体に押し込まれる構造となるため，カンヌキ受けボルトの評価は行わない。

表4-19　空調機械室搬入口扉（潜戸）の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	扉受圧面積	1.84	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n_k	カンヌキ部箇所数	2	箇所
		n_h	ヒンジ部箇所数	2	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	A_k	断面積	1963	mm^2
		L_k	軸支持間距離	75	mm
		Z_k	断面係数	12270	mm^3
	カンヌキ受けピン	A_p	断面積	314.2	mm^2
		L_p	軸支持間距離	80	mm
		Z_p	断面係数	785.4	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト１本当たりの断面積	157	mm^2
		n	ボルト本数	2	本

c.　原子炉建屋付属棟1階南側水密扉及び原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉

上記扉の変形評価に用いる条件を表4-20～表4-21に示す。

表4-20　原子炉建屋付属棟1階南側水密扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	扉受圧面積	3.59	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n_k	カンヌキ部箇所数	4	箇所
		n_h	ヒンジ部箇所数	2	箇所
カンヌキ部	カンヌキバー	L_k	軸支持間距離	19	mm
		Z_l	断面係数	12271	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト１本当たりの断面積	4	mm^2
		n	ボルト本数	157	本

表4-21　原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	扉受圧面積	1.44	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n_k	カンヌキ部箇所数	2	箇所
		n_h	ヒンジ部箇所数	2	箇所
カンヌキ部	カンヌキバー	L_k	軸支持間距離	19	mm
		Z_1	断面係数	2651	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト１本当たりの断面積	84.3	mm^2
		n	ボルト本数	4	本

d.　原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉及び原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉

上記扉の変形評価に用いる条件を表4-22～表4-23に示す。

表4-22　原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉の変形評価の評価条件

部位	記号	記号の説明	数値	単位
パネル取付ボルト	A_b	ボルト一本当たりの断面積	245	mm^2
	n	ボルト本数	40	本
アンカーボルト（外部側）	A_b	ボルト一本当たりの断面積	245	mm^2
	n	ボルト本数	40	本
アンカーボルト（内部側）	A_b	ボルト一本当たりの断面積	245	mm^2
	n	ボルト本数	40	本

表4-23　原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉の変形評価の評価条件*

部位	記号	記号の説明	数値	単位
パネル取付ボルト	A_b	ボルト一本当たりの断面積	353	mm^2
	n	ボルト本数	39	本

注記　＊：扉枠を躯体に直接埋め込むためアンカーボルトなし

5. 強度評価結果

5.1 衝突評価

貫通限界厚さと許容限界の比較を表5-1に示す。式による評価で許容限界を満足しなかった原子炉建屋原子炉棟屋根スラブについては，解析による評価にて鉄筋が破断しないことを確認した。

表5-1 貫通評価結果(1/2) （式による評価）

評価項目		評価対象部位		飛来物	最小厚さ*1 (mm)	貫通限界厚さ (mm)
衝突評価	原子炉建屋	屋根スラブ		鋼製材		188
		外壁	ＲＣ造部	鋼製材		265
			鋼構造部	鋼製材		31.2
	タービン建屋	オペレーティングフロア床版*4		鋼製材		188
		気体廃棄物処理系隔離弁設置エリア壁		鋼製材		265
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	屋根スラブ		鋼製材		185
				車両		－
		外壁		鋼製材		261
				車両		299
	軽油貯蔵タンクタンク室	鋼製蓋		鋼製材		18.3
		頂版		鋼製材		163
	海水ポンプエリア防護壁	ＲＣ壁		鋼製材		260
	緊急時対策所建屋	建屋屋根スラブ		鋼製材		175
				車両		－
		建屋外壁		鋼製材		247
				車両		282
	扉	原子炉建屋大物搬入口扉		鋼製材		31.2
		(吸収エネルギ評価)		鋼製材	175.9 kJ	175.6 kJ
		上記以外		鋼製材		31.2

注記 ＊1：評価部位の中で最小のもの
＊2：表5-2(2/2)により内包する防護すべき施設への影響がないことを確認
＊3：防護鋼板として，当該厚さでの耐貫通性を確認済（添付書類「Ⅴ-3-別添1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書」）
＊4：竜巻より防護すべき施設の上部のスラブを対象とする。

表5-1　衝突評価結果(2/2)　(解析による評価)

評価項目		評価対象部位	飛来物	ひずみ	
				評価結果	許容限界
衝突評価	原子炉建屋 原子炉棟	屋根スラブ (鉄筋)	鋼製材	2.1×10^{-3}	8.2×10^{-2}

5.2　裏面剥離評価

裏面剥離限界厚さと許容限界の比較を表5-2に示す。式による評価で許容限界を満足しなかった部位については，解析による評価にてデッキプレート若しくはライナが破断しないことを確認した。

表 5-2　裏面剥離評価結果(1/2)　(式による評価)

評価項目		評価対象部位		飛来物	最小厚さ*1 (mm)	裏面剥離限界厚さ (mm)
裏面剥離評価	原子炉建屋	屋根スラブ		鋼製材		355
		外壁	RC造部	鋼製材		466
	タービン建屋	オペレーティング フロア床版*3		鋼製材		355
		気体廃棄物処理系 隔離弁設置エリア壁		鋼製材		466
	使用済燃料乾式 貯蔵建屋	屋根スラブ		鋼製材		346
				車両		―
		外壁		鋼製材		454
				車両		649
	軽油貯蔵タンク タンク室	頂版		鋼製材		280
	海水ポンプエリア 防護壁	RC壁		鋼製材		451
	緊急時対策所 建屋	屋根スラブ		鋼製材		314
				車両		―
		外壁		鋼製材		412
				車両		589

注記　＊1：評価部位の中で最小のもの
＊2：表 5-2(2/2)により内包する防護すべき施設への影響がないことを確認
＊3：竜巻より防護すべき施設の上部のスラブを対象とする。
＊4：内包する防護すべき施設への影響がないことを，表 5-2(2/2)の原子炉建屋外壁を代表とした評価により確認

表5-2　裏面剥離評価結果(2/2)（解析による評価）

評価項目		評価対象部位	飛来物	ひずみ(－)	
				評価結果	許容限界
裏面剥離評価	原子炉建屋	原子炉棟屋根スラブ（デッキプレート）	鋼製材	0.013*	0.082
		原子炉棟６階外壁*（裏面側鉄筋）	鋼製材	9.45×10^{-4}*	2.0×10^{-3}
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	ライナ	車両	0.058	0.095

注記　＊：外殻となるＲＣ壁の代表箇所（最小版厚部位）

5.3　変形評価

(1)　建屋（ＲＣ造部）

建屋のＲＣ造部に生じるせん断ひずみと許容限界の比較を表5-3に示す。建屋に生じるひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 5-3　変形評価結果（建屋（ＲＣ造部））

評価項目		評価結果	許容限界
建屋のせん断ひずみ	原子炉建屋	4.2×10^{-5}	2.0×10^{-3}
	タービン建屋	4.7×10^{-5}	2.0×10^{-3}
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	4.5×10^{-5}	2.0×10^{-3}
	緊急時対策所建屋	8.8×10^{-6}	2.0×10^{-3}

(2)　原子炉建屋（鉄骨造部）

a.　鉄骨架構

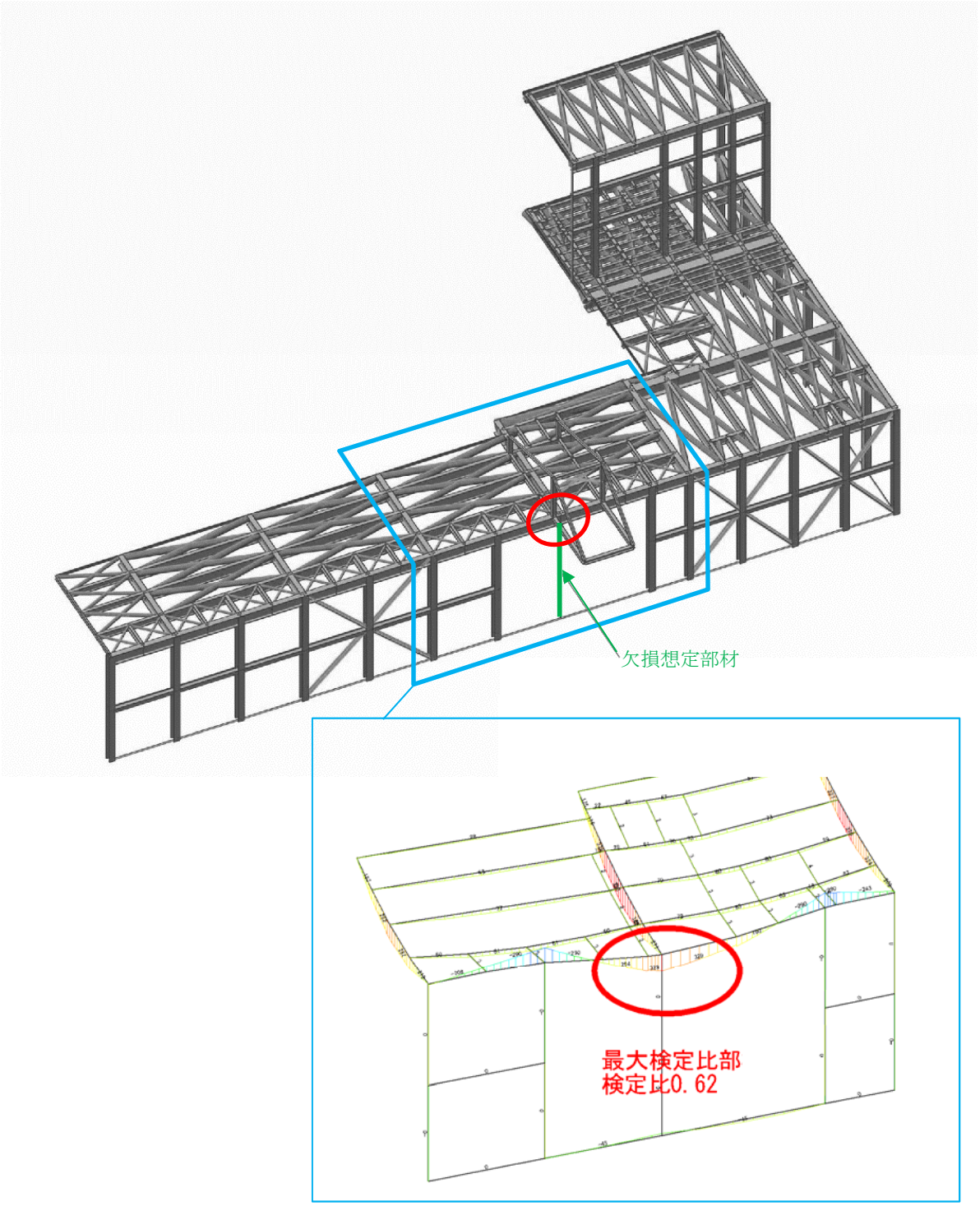
部材の欠損を想定した場合に原子炉建屋（鉄骨造部）の部材に発生する応力度と許容限界の比較を表5-4に示す。鉄骨架構に生じる応力度が，許容限界を超えないことを確認した。検定比が最大となる箇所について，図5-1に示す。

表5-4　変形評価結果（原子炉建屋（鉄骨造部）鉄骨架構）

評価項目	評価箇所	評価結果			許容限界
鉄骨架構の発生応力度	付属棟東側及び隔離弁室②	検定比		0.62*1	1*2
		応力度	曲げ（強軸）	144 (N/mm^2)	235 (N/mm^2)
			曲げ（弱軸）	0 (N/mm^2)	235 (N/mm^2)
			軸力（引張）	2 (N/mm^2)	235 (N/mm^2)
	付属棟南東側	検定比		0.54*1	1*2
		応力度	曲げ（強軸）	123 (N/mm^2)	235 (N/mm^2)
			曲げ（弱軸）	0 (N/mm^2)	235 (N/mm^2)
			軸力（圧縮）	3 (N/mm^2)	226 (N/mm^2)
	隔離弁室①	検定比		0.41*1	1*2
		応力度	曲げ（強軸）	94 (N/mm^2)	235 (N/mm^2)
			曲げ（弱軸）	0 (N/mm^2)	235 (N/mm^2)
			軸力（圧縮）	3 (N/mm^2)	203 (N/mm^2)

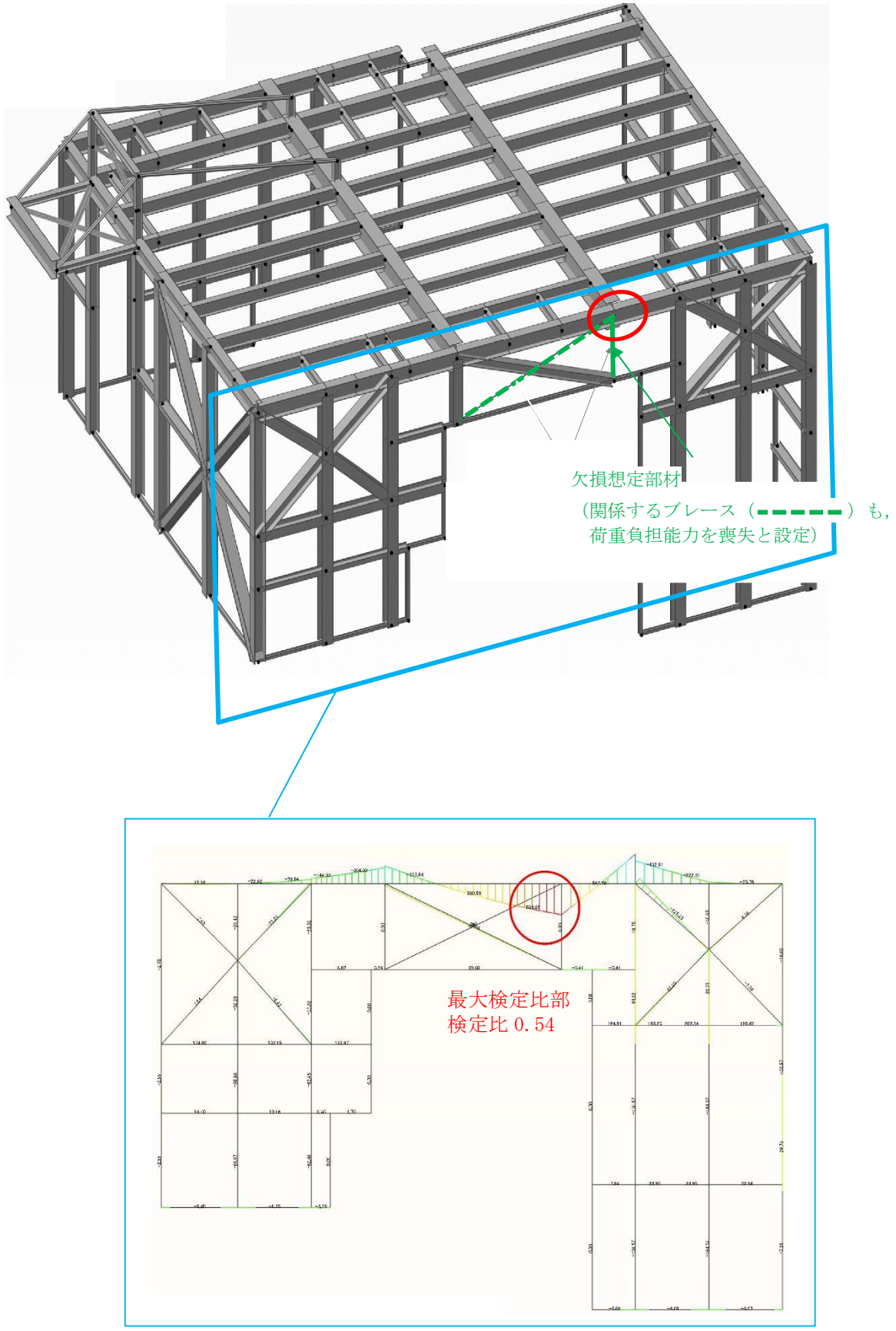
注記　＊1：表3-30の「引張（圧縮）＋曲げ」の検定式による

＊2：短期許容応力度に対する比



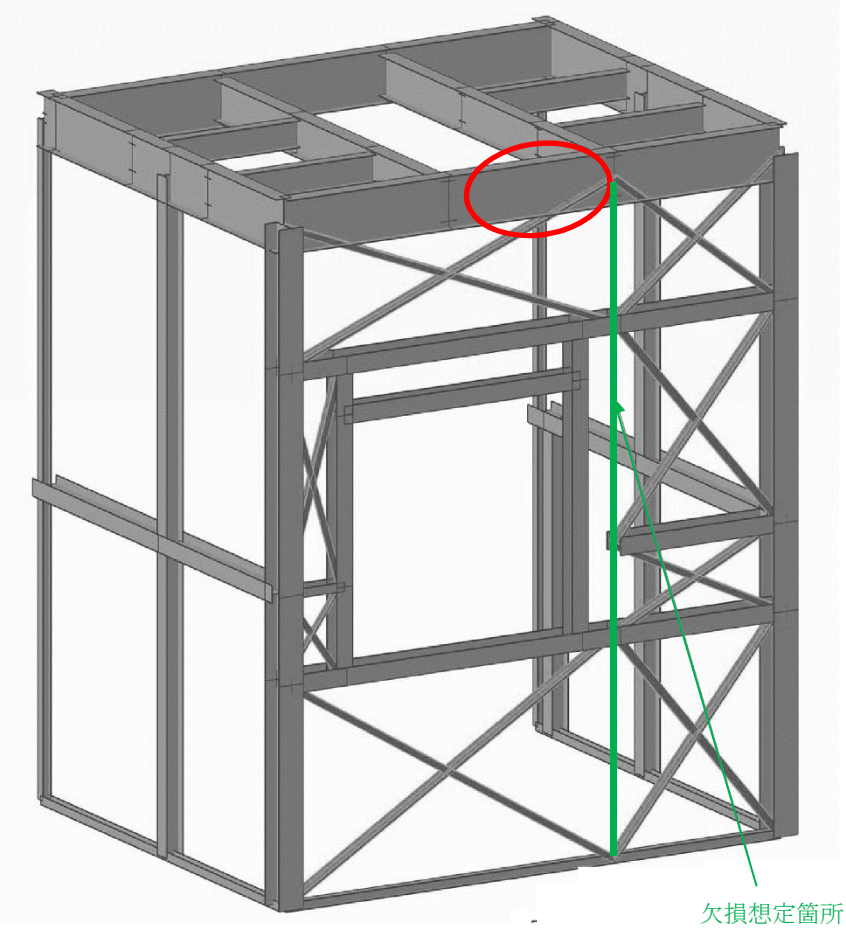
（付属棟東側及び隔離弁室②）

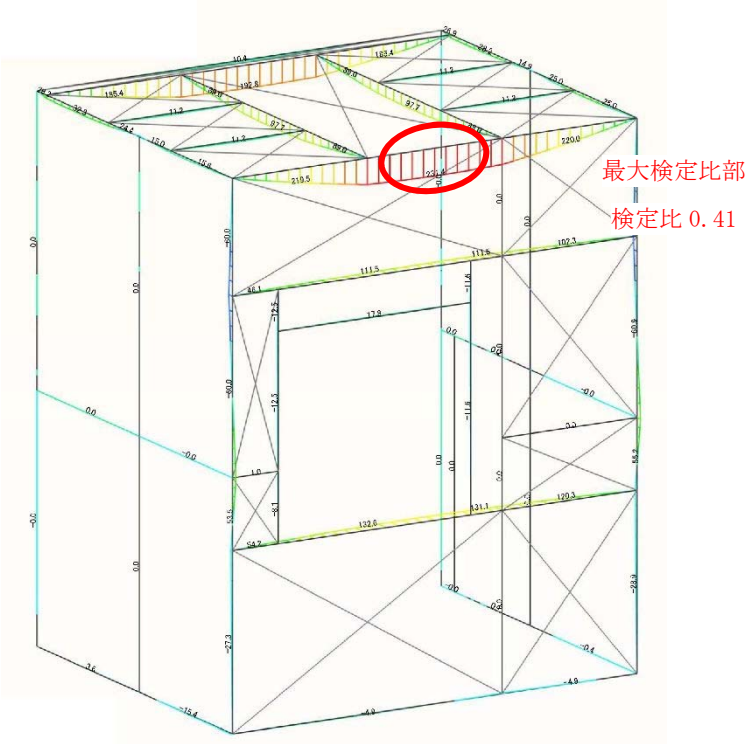
図5-1　最大検定比の発生箇所（竜巻時）（1/3）



（付属棟南東側）

図5-1　最大検定比の発生箇所（竜巻時）（2/3）





（隔離弁室①）

図5-1　最大検定比の発生箇所（竜巻時）（3/3）

b. 外装板

外装板の曲げ応力及び取付ボルトの発生荷重と許容限界の比較を表5-5に示す。いずれにおいても許容限界を超えないことを確認した。

表5-5 変形評価結果（原子炉建屋（鉄骨造部）外装板）

評価項目	評価結果	許容限界
曲げ応力度	6.1（N/mm^2）	40（N/mm^2）
取付ボルト（1本当たり）の引張荷重	2.6（kN）	3.0（kN）

(3) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに生じる荷重と許容限界の比較を表5-6に示す。スラブ及びスタッドに生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-6 変形評価結果（原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ）

評価項目	評価結果	許容限界
屋根スラブ（単位幅）の曲げモーメント	3（kN･m）	10（kN･m）*1
屋根スラブ（単位幅）のせん断力	9（kN）	46（kN）*1
スタッド（1本当たり）の引張力	4（kN）	32（kN）*2

注記 ＊1：「ＲＣ規準」に基づき算出
＊2：「各種合成構造指針」に基づき算出

(4) 扉

a. 原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)，原子炉建屋付属棟1階東側水密扉

評価対象扉に生じる荷重と許容限界の比較を表5-7に示す。カンヌキ部に生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-7　変形評価結果（原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)，原子炉建屋付属棟1階東側水密扉）

評価対象部位			評価結果 (N/mm^2)	許容限界 (N/mm^2)
原子炉建屋原子炉棟水密扉	カンヌキ部	カンヌキ	105	205
		カンヌキ受けピン*	285	345
		カンヌキ受けボルト	62	651
原子炉建屋付属棟１階電気室搬入口水密扉	カンヌキ部	カンヌキ	70	205
		カンヌキ受けピン*	202	345
		カンヌキ受けボルト	26	651
原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)	カンヌキ部	カンヌキ	33	205
		カンヌキ受けピン*	119	345
		カンヌキ受けボルト	14	651
原子炉建屋付属棟1階東側水密扉	カンヌキ部	カンヌキ	94	205
		カンヌキ受けピン*	271	345
		カンヌキ受けボルト	35	651

注記　＊：曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい方の値を記載

b.　原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉，空調機械室搬入口扉及び空調機械室搬入口扉（潜戸）

評価対象扉に生じる荷重と許容限界の比較を表5-8に示す。カンヌキ部に生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-8　変形評価結果意（原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉，空調機械室搬入口扉及び空調機械室搬入口扉（潜戸））

評価対象部位			評価結果 (N/mm^2)	許容限界 (N/mm^2)
原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉	カンヌキ部	カンヌキ	20	205
		カンヌキ受けピン*	84	345
		カンヌキ受けボルト	11	651
空調機械室搬入口扉	カンヌキ部	カンヌキ	137	651
		カンヌキ受けピン*	383	686
空調機械室搬入口扉(潜戸)	カンヌキ部	カンヌキ	25	205
		カンヌキ受けピン*	104	345
		カンヌキ受けボルト	13	651

注記　＊：曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい方の値を記載

c.　原子炉建屋付属棟南側水密扉及び原子炉建屋付属棟西側非常用階段連絡口扉

評価対象扉に生じる荷重と許容限界の比較を表5-9に示す。カンヌキ部に生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-9　原子炉建屋付属棟南側水密扉及び原子炉建屋付属棟西側非常用階段連絡口扉の変形評価結果

評価対象部位			評価結果 (N/mm^2)	許容限界 (N/mm^2)
原子炉建屋付属棟南側水密扉	カンヌキ部	カンヌキバー	8	345
		カンヌキ受けボルト	8	205
原子炉建屋付属棟西側非常用階段連絡口扉	カンヌキ部	カンヌキバー	23	345
		カンヌキ受けボルト	10	205

d. 原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉及び原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉

評価対象扉に生じる荷重と許容限界の比較を表5-10に示す。扉体固定部に生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-10 原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉及び原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉の変形評価結果

評価対象部位			評価結果 (N/mm^2)	許容限界 (N/mm^2)
原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉	扉体固定部	パネル取付ボルト	29	205
		アンカーボルト（外部側）	29	235
		アンカーボルト（内部側）	29	135
原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉	扉体固定部	パネル取付ボルト	18	205

(5) 廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）

a. 鉄骨架構

部材の欠損を想定した場合に廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）の部材に発生する応力度と許容限界の比較を表5-11に示す。鉄骨架構に生じる応力度が，許容限界を超えないことを確認した。検定比が最大となる箇所について，図5-2に示す。

表5-11 変形評価結果

（廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）鉄骨架構）

評価項目	評価結果			許容限界
鉄骨架構の発生応力度	検定比		0.35*1	1*2
	応力度	曲げ（弱軸）	4 (N/mm^2)	234 (N/mm^2)
		曲げ（強軸）	40 (N/mm^2)	229 (N/mm^2)
		せん断（弱軸）	1 (N/mm^2)	135 (N/mm^2)
		せん断（強軸）	38 (N/mm^2)	135 (N/mm^2)
		軸力（圧縮）	4 (N/mm^2)	175 (N/mm^2)

注記 ＊1：表3-30の「軸力（圧縮，引張）＋曲げ＋せん断」の検定式による

＊2：短期許容応力度

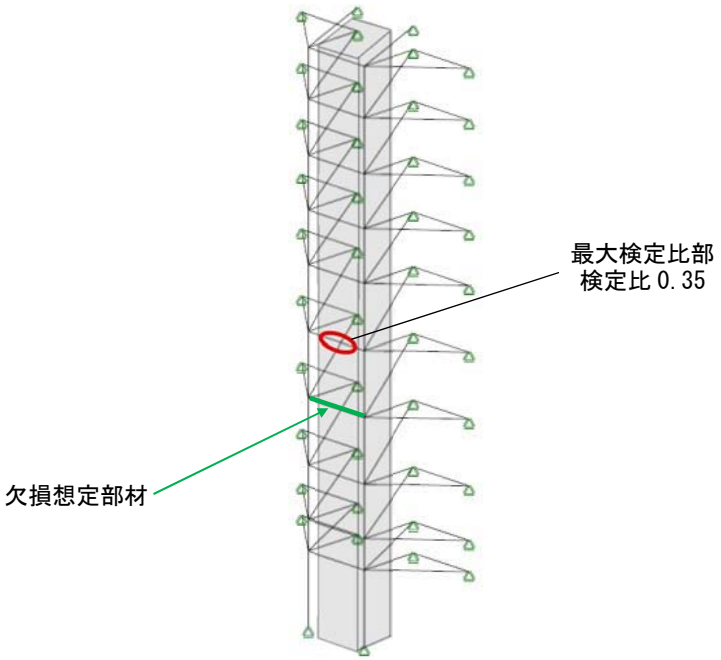


図5-2　最大検定比の発生箇所

b.　外装板

外装板の曲げ応力度及び取付ボルトの発生荷重と許容限界の比較を表5-12に示す。いずれにおいても許容限界を超えないことを確認した。

表5-12　変形評価結果

（廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）外装板）

評価項目	評価結果	許容限界
曲げ応力度	125 (N/mm^2)	235 (N/mm^2)
取付ボルトの引張荷重	6 (kN)	20 (kN)

Ⅴ-3-別添 1-1-2　残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 3
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 10
3.3 荷重及び荷重の組合せ 13
3.4 許容限界 15
3.5 評価方法 17
4. 評価条件 31
5. 強度評価結果 35

1. 概要

本資料は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，残留熱除去系海水系ポンプが竜巻時及び竜巻通過後においても，送水機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

残留熱除去系海水系ポンプについて，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，残留熱除去系海水系ポンプの「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

残留熱除去系海水系ポンプは，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外の海水ポンプ室に設置する。

海水ポンプ室の位置図を図2-1に示す。

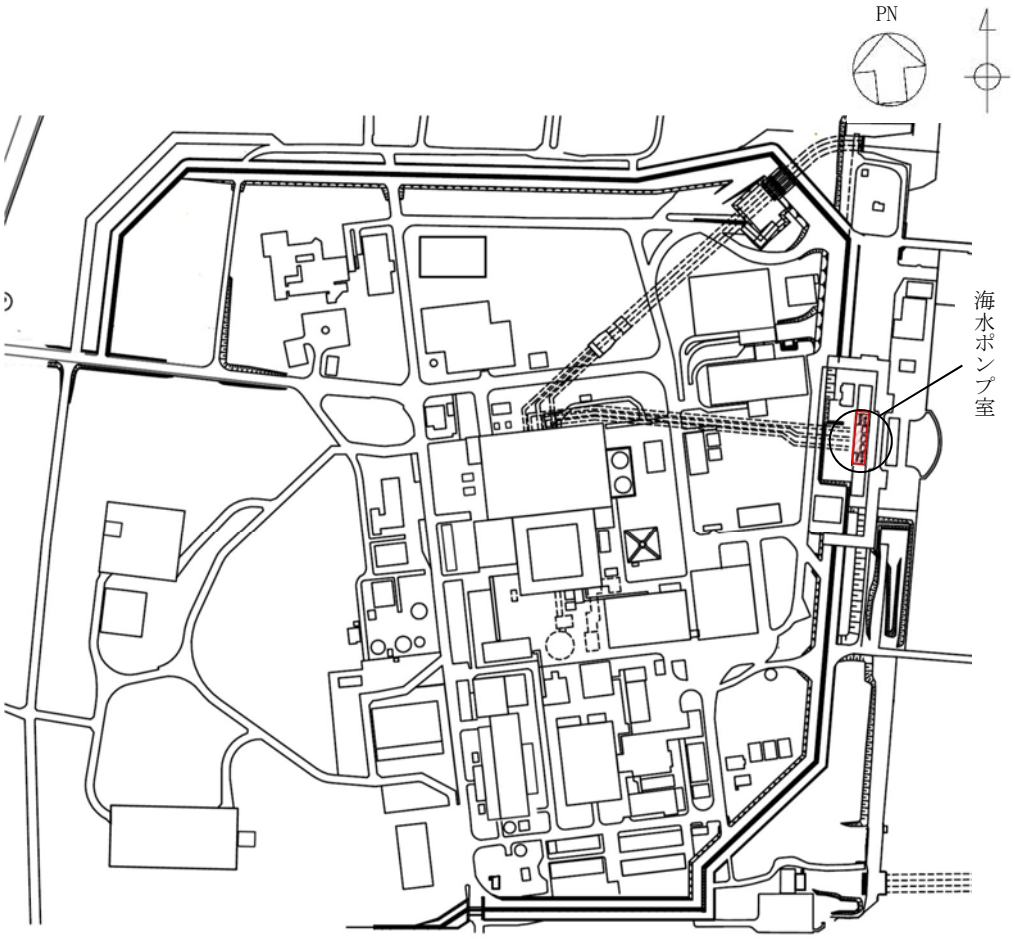
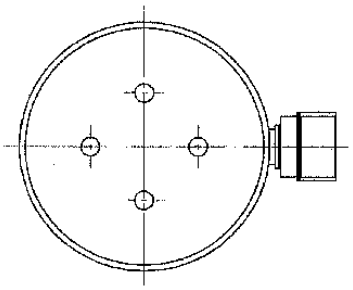


図 2-1　海水ポンプ室の位置図

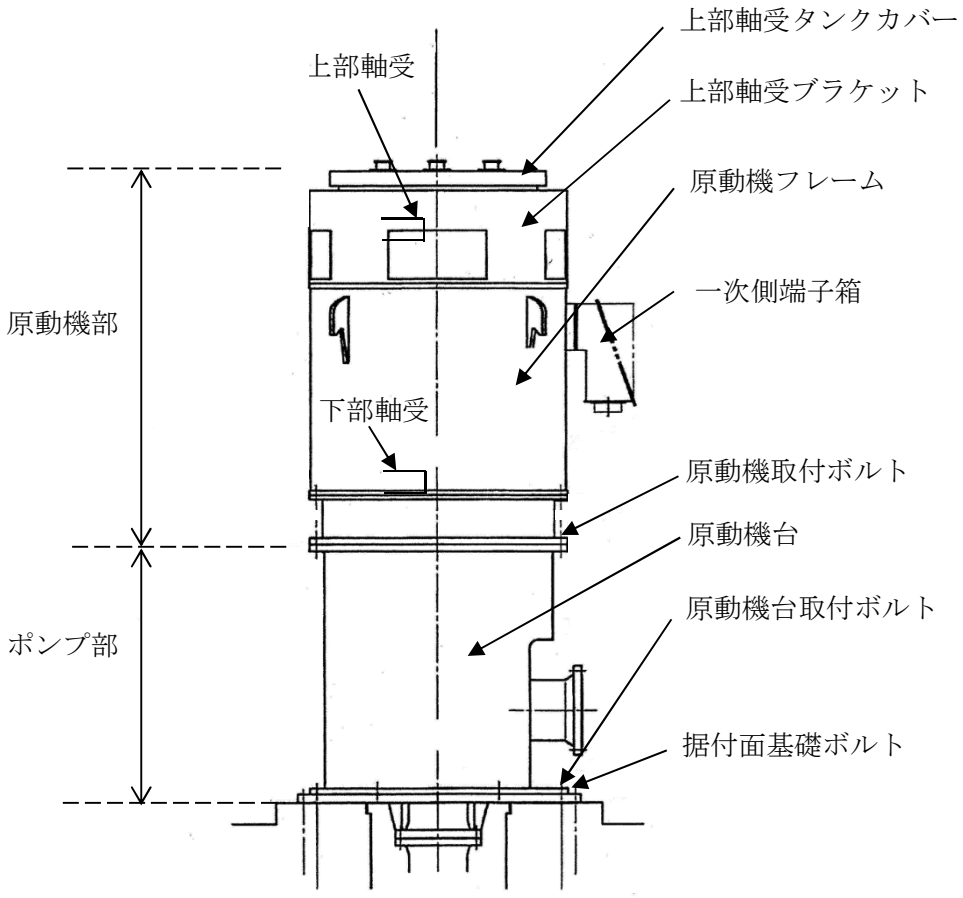
2.2　構造概要

残留熱除去系海水系ポンプについて，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

残留熱除去系海水系ポンプは，ポンプ据付面から原動機台までのポンプ部と，原動機台より上部の原動機部からなる立形ポンプであり，同一設計の残留熱除去系海水系ポンプを4台設置している。残留熱除去系海水系ポンプ原動機の形状は，円筒形を基本としたフレームに，一次側端子箱が付加された形態である。残留熱除去系海水系ポンプの概要図を図2-2に示す。



(a) 上面図



(b) 側面図

図2-2　残留熱除去系海水系ポンプの概要図

2.3　評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が，許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

(1)　衝突評価の評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては，防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。衝突評価では，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価における許容限界は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，外殻を構成する部材の厚さとする。

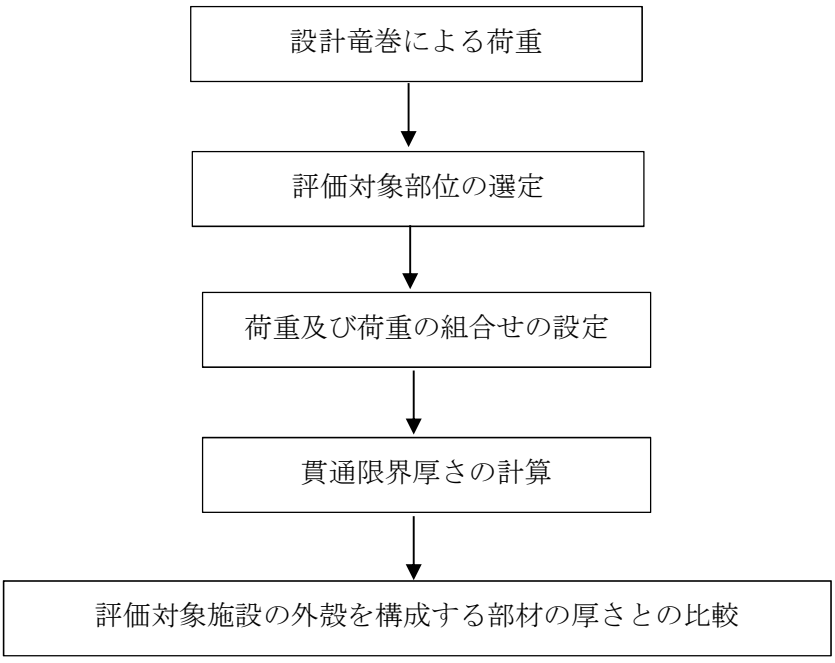


図2-3　残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価フロー

(2)　構造強度評価の評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価フローを図2-4に示す。構造強度評価においては，残留熱除去系海水系ポンプに対して，設計竜巻による荷重に運転時の状態で作用する荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において，その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の構造強度評価には，設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価における許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓとする。

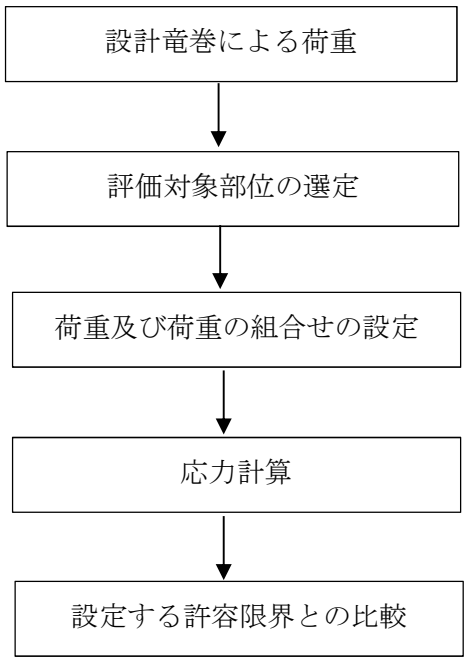


図2-4　残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価フロー

(3)　動的機能維持評価の評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価フローを図 2-5 に示す。残留熱除去系海水系ポンプは動的機器であるため，構造強度評価に加え，軸受部の動的機能維持評価を行う。動的機能維持評価においては，残留熱除去系海水系ポンプ据付面から上部の受圧面積が大きくなる方向から風が当たることを想定し，設計竜巻の風圧力による荷重を受けた際のフレーム変位により生じる軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下であることを確認する。動的機能維

持評価では，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価における許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，軸受部の接触面圧の許容荷重とする。

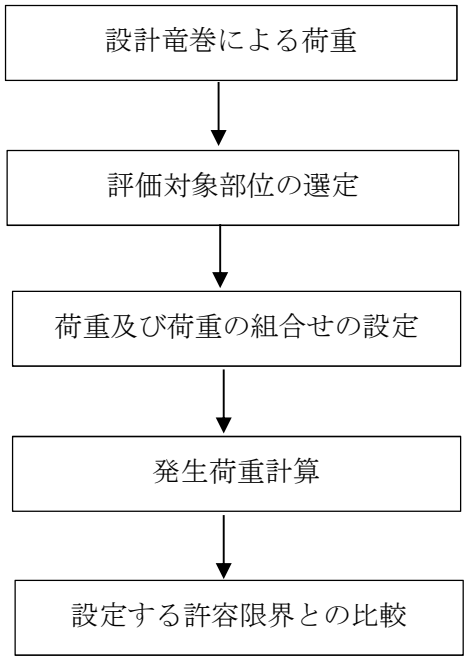


図2-5　残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 「タービンミサイル評価について」（昭和52年7月20日　原子炉安全専門審査会）
- 「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（社）日本電気協会
- 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）
- 「新版機械工学便覧」（1987年4月日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 衝突評価の記号の定義

残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	－	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の記号の定義

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表3-2及び表3-3に示す。

表3-2 構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_b	mm^2	ボルトの断面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	原動機フレーム外径
d	mm	原動機フレーム内径
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_b	N	ボルトに作用する引張力
F_H	N	ボルトに作用するせん断力
F_i	N	各ボルトに作用する引張力
F_n	N	ボルトに作用する最大引張力
f_b	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容曲げ応力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	N	自重による荷重

表3-2　構造強度評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
h	mm	基準面からの重心距離
h_u	mm	基準面から上端カバー上端までの高さ
L_H	mm	重心と支点間の距離
L_i	mm	各ボルト間の距離
L_n	mm	各ボルト間距離のうち最長距離
L_1～L_8	mm	支点と評価ボルト間の距離
M	N･mm	設計竜巻により評価対象部位に作用するモーメント
m	kg	質量
N	－	ボルトの本数
q	N/m^2	設計用速度圧
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T1}=W_P$）
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$）
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
Z	mm^3	断面係数
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
π	－	円周率
σ	MPa	原動機フレームの曲げ応力
σ_{bt}	MPa	ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	せん断応力

表3-3　動的機能維持評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
a	mm	部材間の長さ
a_1	mm	ポンプ据付面から原動機台上端までの長さ
a_2	mm	原動機台上端から原動機下部軸受までの長さ
a_3	mm	原動機台上端から荷重作用点までの長さ
b	mm	回転子リブ幅
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	回転子幅
d	mm	回転子コア径
D_m	mm	原動機フレーム外径
d_m	mm	原動機フレーム内径
D_p	mm	原動機台外径
d_p	mm	原動機台内径
E	MPa	縦弾性係数
E_m	MPa	原動機フレームの縦弾性係数
E_p	MPa	原動機台の縦弾性係数
E_m’	MPa	回転子の縦弾性係数
G	－	ガスト影響係数
h’	mm	基準点から作用点までの距離
h_1’	mm	ポンプ据付面から荷重作用点までの距離
h_2’	mm	原動機下部軸受から荷重作用点までの距離
h_3’	mm	荷重作用点から荷重作用点までの距離
I	mm^4	断面二次モーメント
I_m	mm^4	原動機フレームの断面二次モーメント
I_m’	mm^4	回転子の断面二次モーメント
I_p	mm^4	原動機台の断面二次モーメント
i	rad	傾斜
i_1	rad	ポンプ据付面から原動機台上端部の傾斜
i_3	rad	原動機台上端部から荷重作用点の傾斜
i_4	rad	荷重作用点の傾斜
M	N･mm	設計竜巻により作用するモーメント
M_a	N･mm	設計竜巻により作用するモーメント
M_b	N･mm	設計竜巻により作用するモーメント
M_c	N･mm	設計竜巻により作用するモーメント

表3-3　動的機能維持評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
q	N/m^2	設計用速度圧
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$）
W’	N	たわみ量及び発生荷重計算において設計竜巻による風圧を受ける面それぞれのW_{T2}の合計の複合荷重
W”	N	発生荷重
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
x	mm	荷重作用点から評価対象部位までの距離
x’	mm	評価対象部から支点までの距離
x_a’	mm	ポンプグランド部から原動機下部軸受部までの距離
x_b’	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部までの距離
y	mm	たわみ量
y_1	mm	ポンプ据付面から原動機台上端部のたわみ量
y_2	mm	原動機台上端部から原動機下部軸受部のたわみ量
y_3	mm	原動機台上端部から荷重作用点のたわみ量
y_4	mm	荷重作用点のたわみ量
y_5	mm	荷重作用点から原動機上部軸受部のたわみ量
y_a	mm	原動機下部案内軸受部のたわみ量
y_b	mm	原動機上部案内軸受部のたわみ量
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
π	－	円周率
δ	mm	フレーム変位量

3.2　評価対象部位

残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえ，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

(1)　衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により，残留熱除去系海水系ポンプに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため，貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

残留熱除去系海水系ポンプ地上部の全方向からの飛来物を考慮し，貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として最薄部となる一次側端子箱を選定する。

残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

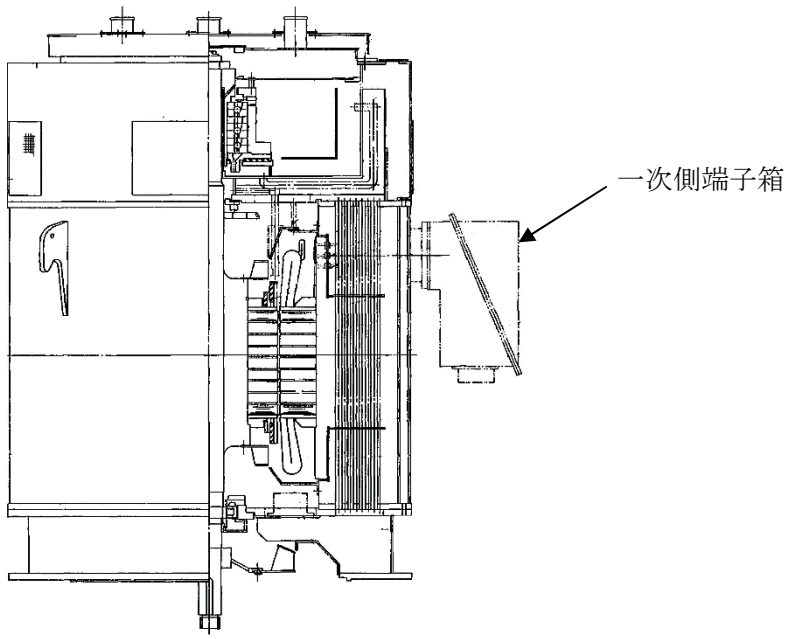


図3-1　残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位（衝突評価）

(2)　構造強度評価の評価対象部位

a.　ポンプ部

ポンプ部について，原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は，原動機フレーム及び原動機台に作用し，原動機台を介して，基礎面及び原動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち，支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから，以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

・原動機取付ボルト

・原動機台取付ボルト

・据付面基礎ボルト

b. 原動機部

原動機部について，原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は，原動機フレーム及び付属品に作用し，原動機フレーム及び付属品を介して，付属品の取付部を固定するボルトに作用する。

このことから，以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

・原動機フレーム
・一次側端子箱取付ボルト
・上部軸受ブラケット取付ボルト
・上部軸受タンクカバー取付ボルト

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価における評価対象部位を図3-2，図3-3に示す。

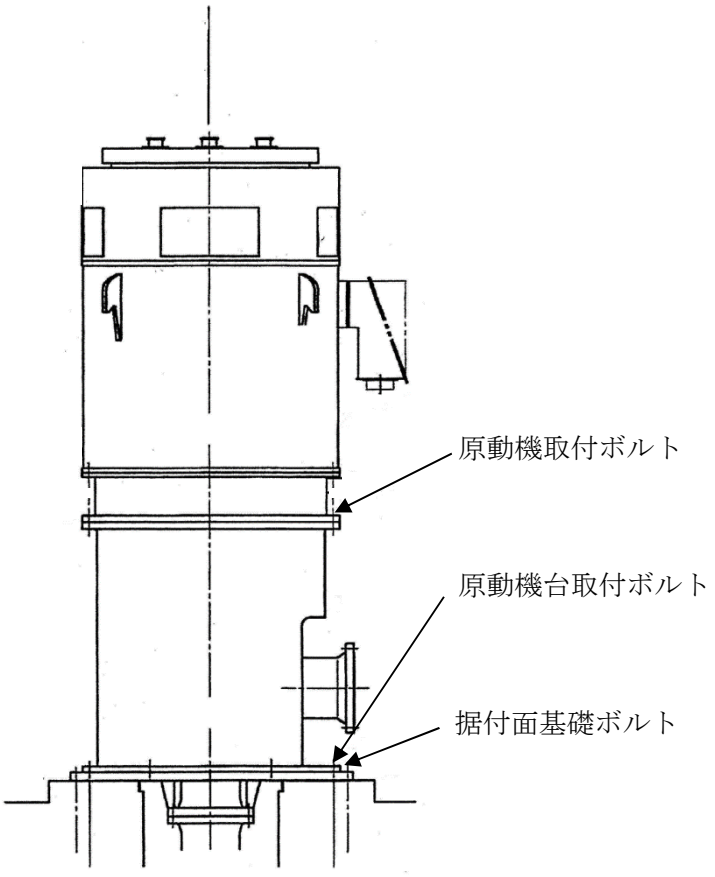


図3-2　残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価対象部位図（ポンプ部）

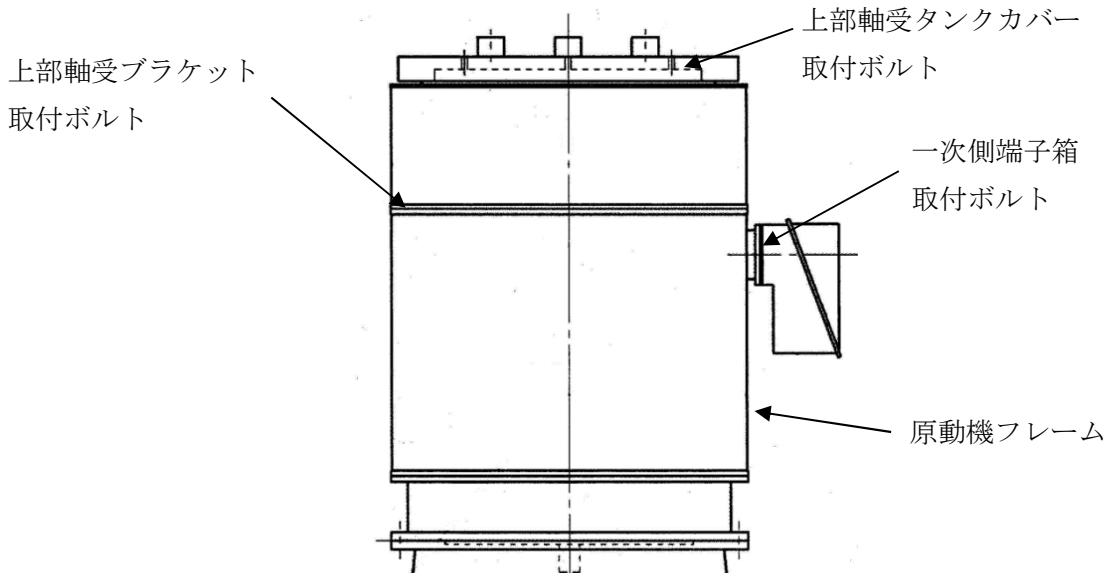


図 3-3　残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価対象部位図（原動機部）

(3)　動的機能維持評価の評価対象部位

ポンプ据付面より上部に設計竜巻による荷重を受けた際に，原動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため，以下の部位を動的機能維持評価の評価対象部位として選定する。

・原動機下部軸受部

・原動機上部軸受部

残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価における評価対象部位を図 3-4 に示す。

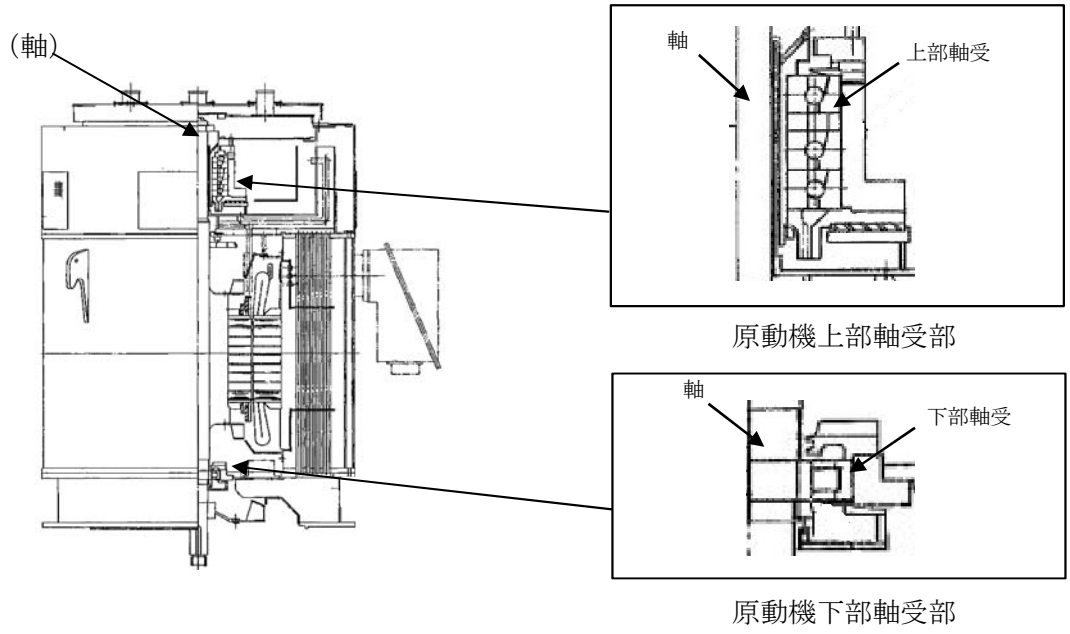


図 3-4　残留熱除去系海水系ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として，防護ネット（ネットの網目寸法40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し，砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては，評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず，貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-4，残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価に用いる荷重を表3-5に示す。

表3-4　砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-5　残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	残留熱除去系海水系ポンプ	一次側端子箱	飛来物による衝撃荷重

(2)　構造強度評価及び動的機能維持評価の荷重及び荷重の組合せ

a.　荷重の設定

構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

(a)　常時作用する荷重

常時作用する荷重として，持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

(b)　設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。また，防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で，衝突時間が極めて短く，衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから，機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ.　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い，算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ．　気圧差による荷重(W_P)

気圧差による荷重W_Pは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(b) 気圧差による荷重」に示す式に従い，算出する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

ハ．　荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重W_T(W_{T1}, W_{T2})は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い，算出する。なお，残留熱除去系海水系ポンプは気圧差が生じ難い構造であるため，複合荷重の選定において，W_{T2}としては気圧差を考慮するが，W_{T1}の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

(c)　運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては，鉛直下向きに作用するポンプスラスト荷重を考慮する。

b.　荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ，残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

ボルト材の構造強度評価において，評価対象部位が鉛直方向に取り付けられており，自重が抗力となる場合は保守的に考慮せず，水平方向に取り付けられている場合（一次側端子箱取付ボルト）は，端子箱自重を考慮する。また，運転時荷重が作用する評価対象部位は全て鉛直方向に取り付けられており，運転時荷重は鉛直方向下向きに作用し抗力となるため，それぞれの構造強度評価を行う際の荷重としては保守的に考慮しない。

残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位に作用する荷重及び強度評価にて考慮する荷重の組合せを表3-6に示す。

表 3-6　荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位			荷重
屋外の外部事象防護対象施設	残留熱除去系海水系ポンプ	構造強度評価	ポンプ部	原動機取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				原動機台取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				据付面基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			原動機部	原動機フレーム	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				一次側端子箱取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③端子箱自重
				上部軸受ブラケット取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				上部軸受タンクカバー取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
		動的機能維持評価	原動機上部軸受部		①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			原動機下部軸受部		①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重

3.4　許容限界

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，外殻を構成する部材の厚さ，ＪＥＡＧ４６０１に基づく許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力及び軸受の接触面圧の許容荷重を用いる。

(1)　衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は，評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し，外殻を構成する部材が，機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため，評価式により算定した貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを許容限界とする。残留熱除去系海水系ポンプの外殻を構成する部材の厚さを表3-7に示す。

表3-7　残留熱除去系海水系ポンプの外殻を構成する部材の厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ
残留熱除去系海水系ポンプ	2.3mm （一次側端子箱）

(2)　構造強度評価における許容限界

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス2,3支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$から算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価における許容限界を表3-8，許容応力を表3-9に示す。

表3-8　残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
ボルト	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	一次応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$\mathrm{Min}\{1.5 f_t,\ (2.1 f_t - 1.6\tau)\}$
原動機フレーム	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	一次応力	曲げ	$1.5 f_b$

表 3-9　残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価における許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5f_t$ (MPa)	$1.5f_s$ (MPa)	$1.5f_b$ (MPa)
原動機取付ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	153	118	―
原動機台取付ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	153	118	―
据付面基礎ボルト	S22C	50*1	260	430	260	195	150	―
原動機フレーム	SS400	60*2	237	389	237	―	―	273
一次側端子箱取付ボルト	SS400	90*2	225	376	225	168	129	―
上部軸受ブラケット取付ボルト	SUS304	60*2	192	489	205	153	118	―
上部軸受タンクカバー取付ボルト	SUS304	90*2	175	451	205	153	118	―

注記　＊1：周囲環境温度
　　＊2：最高使用温度

(3)　動的機能維持評価における許容限界

動的機能維持評価における許容限界は，設計荷重により原動機フレームが変形する場合においても残留熱除去系海水系ポンプの運転継続が可能であるように，軸受の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。

軸受の接触面圧の許容荷重を表3-10に示す。

表3-10　軸受の接触面圧の許容荷重

評価対象部位	許容荷重 (N)
原動機上部軸受部	[redacted]
原動機下部軸受部	[redacted]

3.5　評価方法

(1)　衝突評価の評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot v^{2}}{1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2)　構造強度評価及び動的機能維持評価の評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

a.　計算モデル

(a)　構造強度評価

計算モデルは 1 質点系モデルとし，ポンプ部は全高の 1/2 の位置に，原動機部は風圧力による荷重の作用中心と同等，あるいはより高い重心作用位置に複合荷重が作用することとする。また，設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。ポンプ部及び原動機部の応力の計算モデル図を図 3-5 及び図 3-6 に示す。

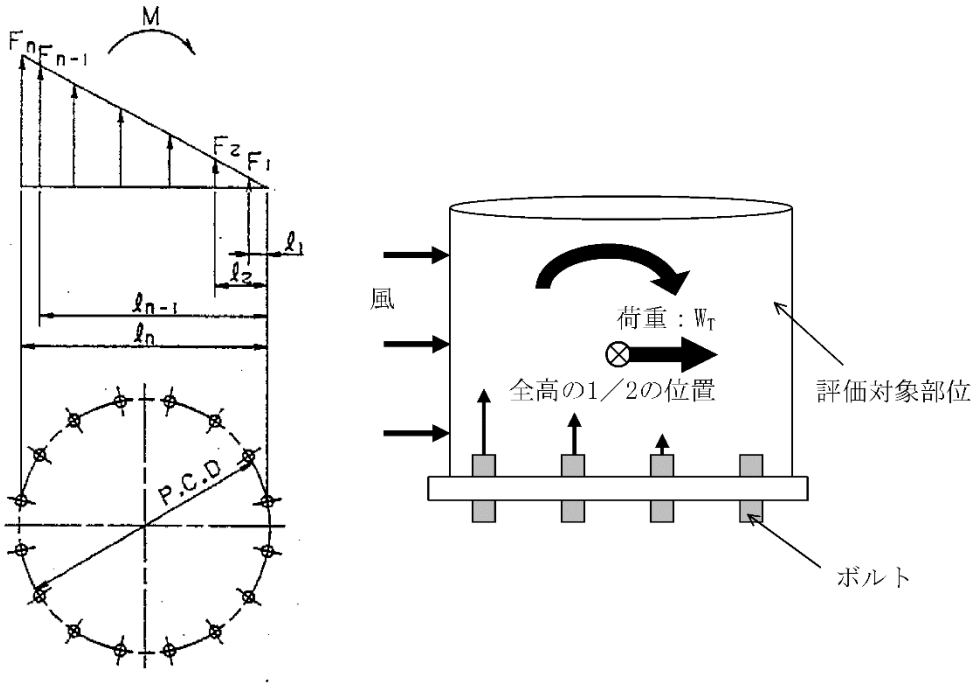


図 3-5　応力の計算モデル図（ポンプ部）

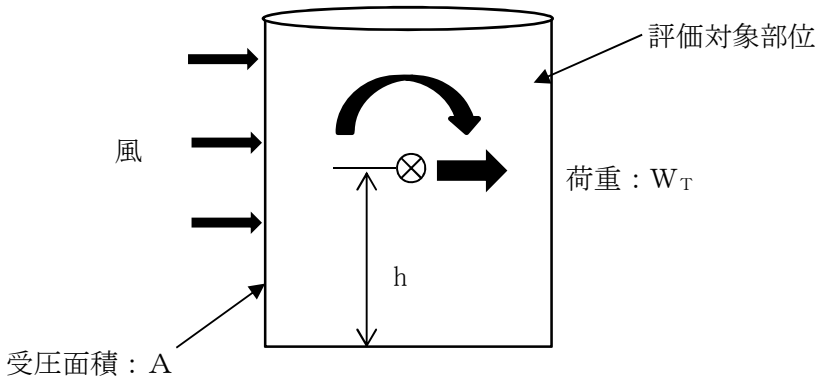


図 3-6　応力の計算モデル図（原動機部）

(b)　動的機能維持評価

動的機能維持評価の際の原動機フレームのたわみ量計算において，ポンプ据付面から原動機台上端まで（ポンプ部）と，原動機台上端から原動機まで（原動機部）の片持ち梁と考え，違う断面性能の一軸中空形モデルで，荷重が全高の半分の位置に作用することとする。ポンプ部の断面性能は原動機台が最も小さいことから，原動機台の断面性能を一様に有する単純円筒形モデルとして評価する。原動機部については原動機フレームの断面性能を用いて評価する。たわみ量計算モデル図を図3-7に示す。

ポンプ据付面より上部の静止体(原動機フレーム等)は,水平方向の複合荷重により,ポンプ据付面を固定端として一方向に変形する。一方,回転体(ポンプ軸及び原動機軸)は，風荷重を受けないため，変形せず，原動機上部から鉛直方向に吊り下げられた状態

を維持する。原動機フレーム等の変形により，軸受反力が許容荷重を超えないことを確認する。

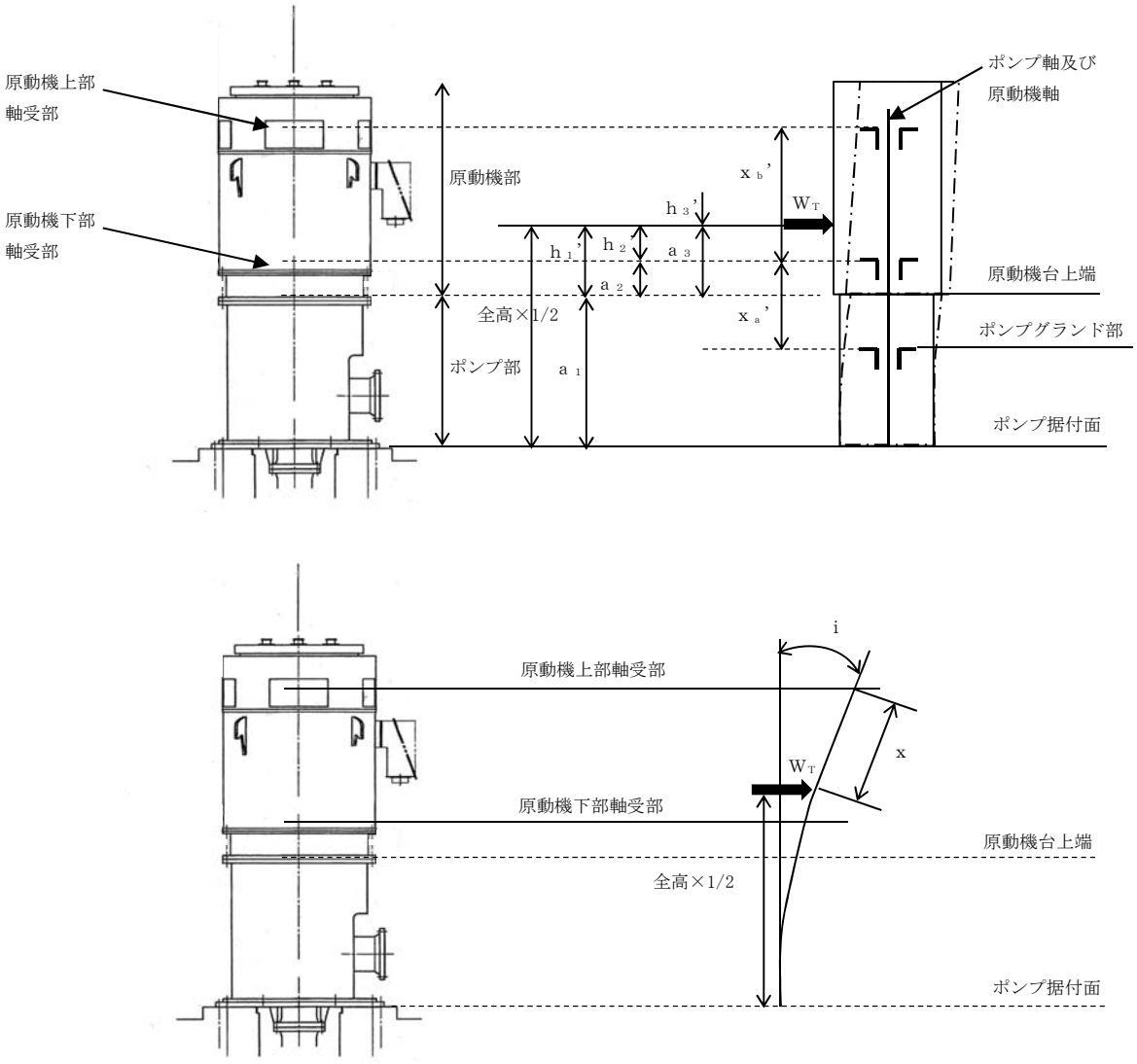


図 3-7　残留熱除去系海水系ポンプのたわみ量計算モデル図

b.　計算方法

(a)　応力の算出

イ．　ポンプ部（ボルト部）

原動機取付ボルト，原動機台取付ボルト及び据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図を図 3-8～図 3-10 に示す。

（イ）　風による転倒モーメントM

$M = W_T$・全高／2

（ロ）　引張応力σ_{bt}

$$M = 2\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot L_i \quad \cdots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i}=\text{一定}\quad\cdots(3.2)$$

(3.1)(3.2)式より,

$$F_n=\frac{M}{2\sum_{i=1}^{n}L_i^{\,2}}L_n$$

よって,

$$\sigma_{bt}=\frac{F_n}{A_b}$$

(ハ) せん断応力 τ

$$\tau=\frac{W_T}{A_b\cdot N}$$

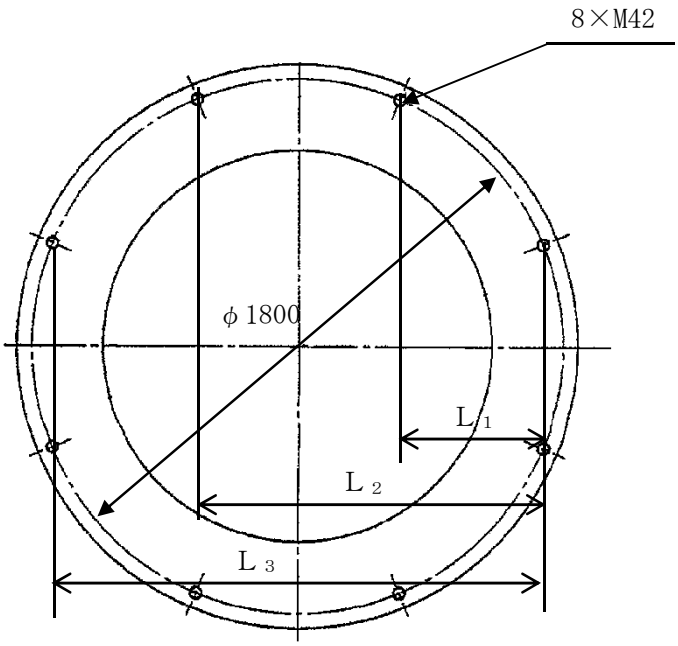


図 3-8　原動機取付ボルトの各ボルト間寸法の配置図

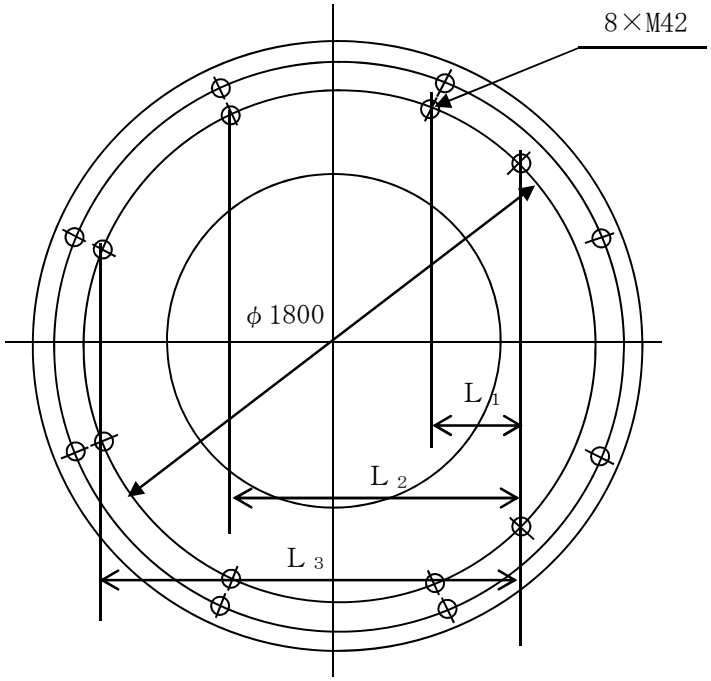


図 3-9　原動機台取付ボルトの各ボルト間寸法の配置図

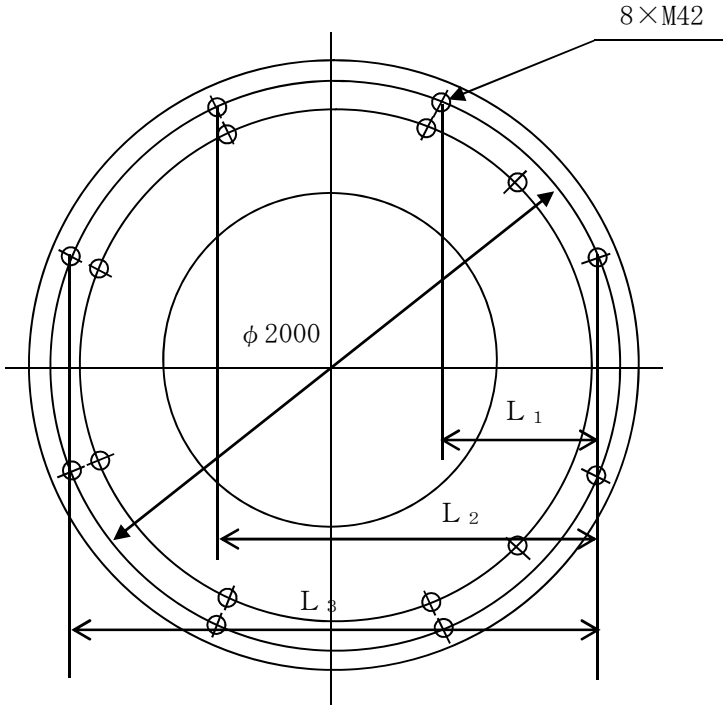


図 3-10　据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図

ロ．　原動機部

原動機フレーム，一次側端子箱ボルト部，上部軸受ブラケット取付ボルト部，上部軸受タンクカバー取付ボルト部の詳細図を図3-11～図3-14に示す。

（イ）　原動機フレーム

原動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

・曲げ応力

（ⅰ）　風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h$$

（ⅱ）　曲げ応力σ

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi \left(D^4 - d^4 \right)}{32 \cdot D}$$

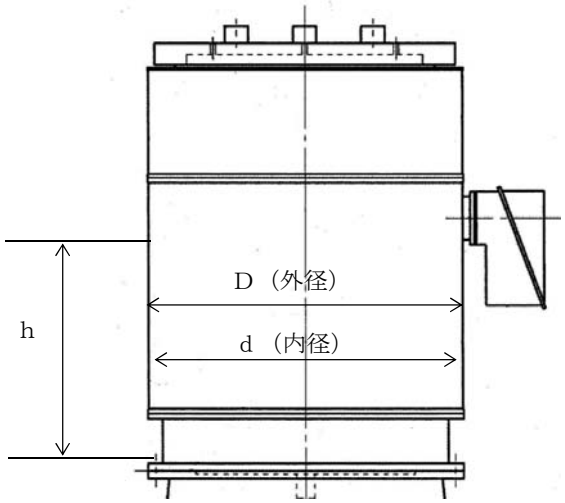


図 3-11　原動機フレーム詳細図

（ロ）　一次側端子箱ボルト部

一次側端子箱ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・引張応力

（ⅰ）　風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h + H \cdot L_H$$

（ⅱ）　引張応力σ_{bt}

$$F_b = \frac{M}{L_1 \cdot N}$$

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b}$$

（ⅲ） せん断応力τ

$$\tau = \frac{F_H}{A_b \cdot N}$$

ここで，

$$F_H = \sqrt{W_T{}^2 + H^2}$$

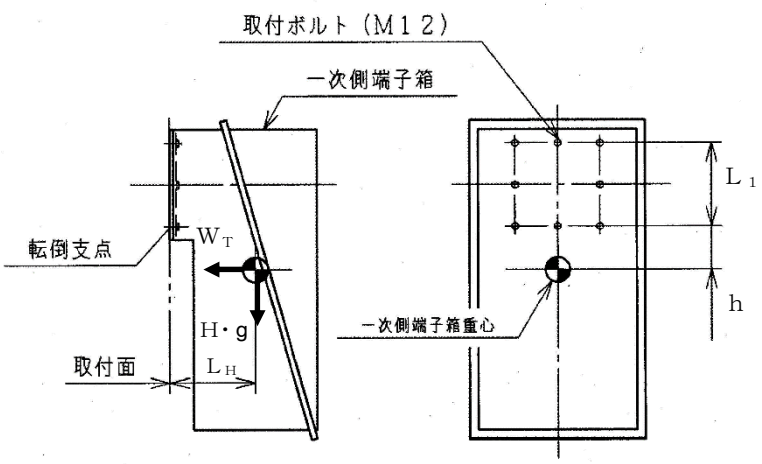


図 3-12　一次側端子箱詳細図

（ハ） 上部軸受ブラケット取付ボルト部，上部軸受タンクカバー取付ボルト部

上部軸受ブラケット取付ボルト部，上部軸受タンクカバー取付ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・引張応力

竜巻によって生じる転倒荷重が，上端カバーの上端（評価上厳しい条件）に作用した際の，取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

（ⅰ） 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h_u$$

（ⅱ） 引張応力σ_{bt}

$$M = 2\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot L_i \quad \cdots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \quad \cdots (3.2)$$

(3.1)（3.2）式より，

$$F_n = \frac{M}{2\sum_{i=1}^{n} L_i^2} L_n$$

よって，

$$\sigma_{bt}=\frac{F_n}{A_b}$$

（iii） せん断応力 τ

$$\tau=\frac{W_T}{A_b\cdot N}$$

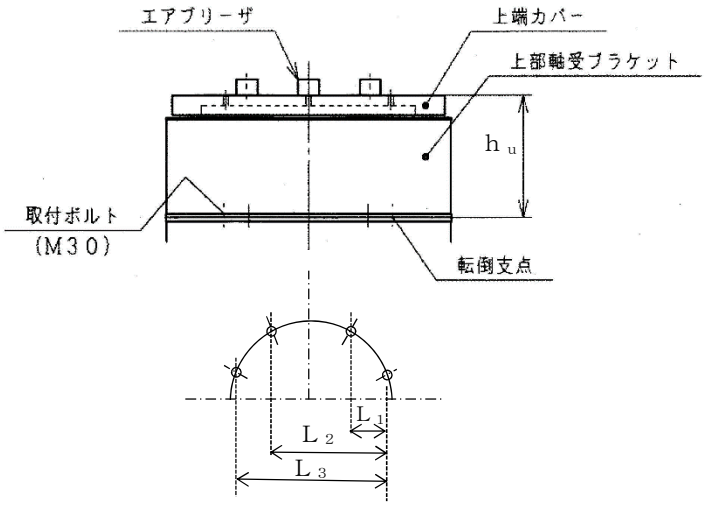


図 3-13　上部軸受ブラケット詳細図

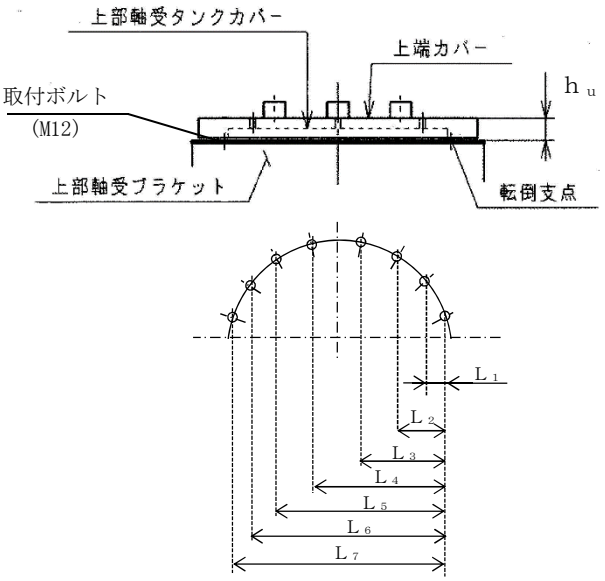


図 3-14　上部軸受タンクカバー詳細図

(b)　発生荷重の計算

イ．　たわみ量の計算

たわみ量の算出において，竜巻による風圧力を受ける面（原動機台，原動機フレーム，一次側端子箱，上部軸受ブラケット，上部軸受タンクカバー）のそれぞれのW_{T2}の合計を複合荷重W’とする。

$W' = \Sigma W_{T2}$

各部位の受圧部図を図3-15～図3-19に示す。

（単位：mm）

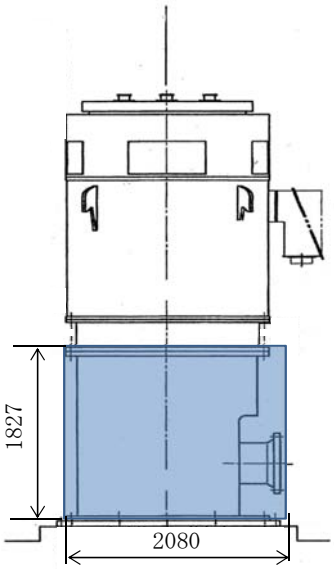


図3-15　原動機台の受圧部図

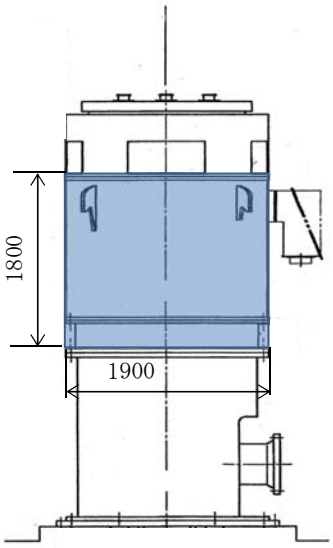


図3-16　原動機フレームの受圧部図

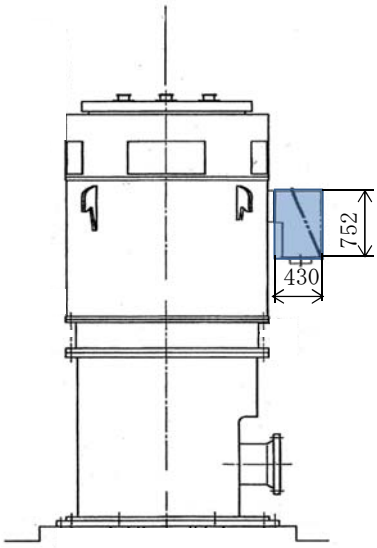


図3-17　一次側端子箱の受圧部図

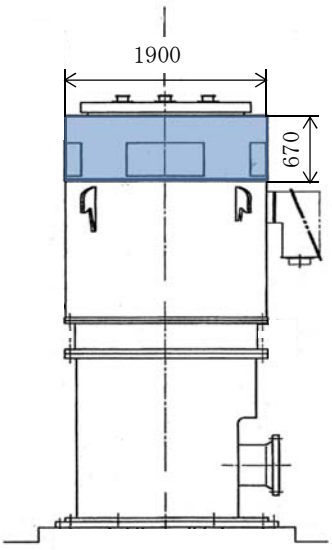


図3-18　上部軸受ブラケットの受圧部図

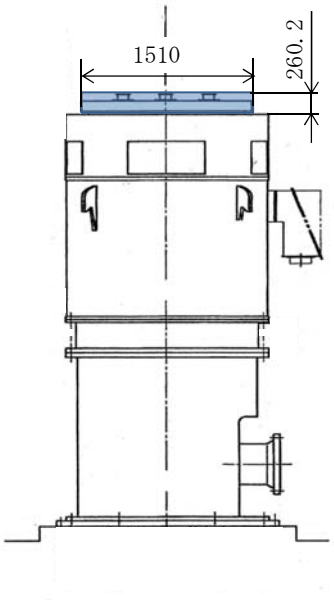


図3-19　上部軸受タンクカバーの受圧部図

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量yと傾斜iを算出する。なお，荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

ミオソテスの方法

$$y=\frac{M\cdot a^2}{2\cdot E\cdot I}+\frac{W'\cdot a^3}{3\cdot E\cdot I}$$

$$i=\frac{M\cdot a}{E\cdot I}+\frac{W'\cdot a^2}{2\cdot E\cdot I}$$

$$M=W'\cdot h'$$

（イ）　原動機下部軸受部

・ポンプ据付面から原動機台上端部のたわみ量y_1，傾斜i_1

$$y_1=\frac{M_a\cdot a_1^{\,2}}{2\cdot E_p\cdot I_p}+\frac{W'\cdot a_1^{\,3}}{3\cdot E_p\cdot I_p}$$

$$i_1=\frac{M_a\cdot a_1}{E_p\cdot I_p}+\frac{W'\cdot a_1^{\,2}}{2\cdot E_p\cdot I_p}$$

$$M_a=W'\cdot h_1'$$

ここで，原動機台の断面図を図3-20に示す。

（単位：mm）

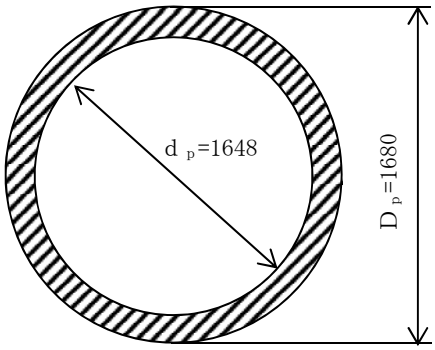


図3-20　原動機台の断面図

円筒形であるため，断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_p = \frac{\pi \left(D_p^4 - d_p^4\right)}{64}$$

・原動機台上端部から原動機下部軸受部のたわみ量y_2

$$y_2 = \frac{M_b \cdot a_2^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_2^3}{3 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$M_b = W' \cdot h_2'$$

ここで，原動機フレームの断面図を図3-21に示す。

（単位：mm）

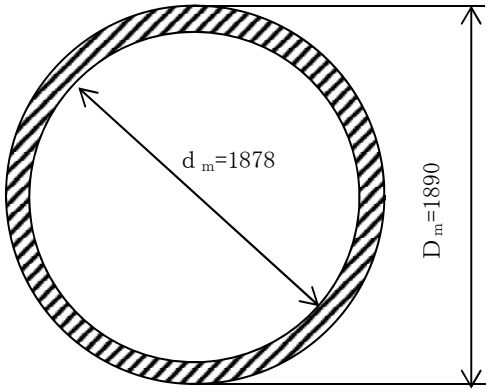


図3-21　原動機フレームの断面図

円筒形であるため，断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m = \frac{\pi\ (D_m^{\ 4} - d_m^{\ 4})}{64}$$

よって，原動機下部軸受部のたわみ量は

$y_a = y_1 + y_2$

（ロ） 原動機上部軸受部

・原動機台上端部から荷重作用点のたわみ量y_3，傾斜i_3

$$y_3 = \frac{M_c \cdot a_3^{\ 2}}{2 \cdot E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_3^{\ 3}}{3 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$i_3 = \frac{M_c \cdot a_3}{E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_3^{\ 2}}{2 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$M_c = W' \cdot h_3'$

よって，荷重作用点のたわみ量y_4，傾斜i_4

$y_4 = y_1 + y_3$

$i_4 = i_1 + i_3$

荷重作用点から原動機上部軸受部のたわみ量y_5

$y_5 = x \cdot \sin(i_4)$

以上より，原動機上部軸受部のたわみ量は

$y_b = y_4 + y_5$

ロ． 発生荷重の算出

軸受部において，フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し，発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重W”は次式より計算する。

δ＝評価対象部位の変位量 － 支点の変位量

また，発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x^{3}}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'^{3}}$$

（イ） 原動機下部軸受部の発生荷重

$$W'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_a}{x_a'^{3}}$$

ここで，$\delta_a = y_a$

回転子（原動機部）の断面図を図3-22に示す。

（単位：mm）

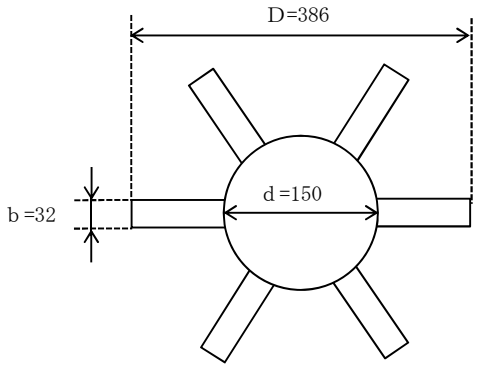


図3-22　回転子（原動機部）の断面図

回転子の断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m' = \frac{b\,(D-d)\cdot(D^2+D\cdot d+d^2+b^2)}{8}+\frac{\pi d^4}{64}$$

（ロ）　原動機上部軸受部の発生荷重

$$W'' = \frac{3\cdot E_m'\cdot I_m'\cdot \delta_b}{x_b'^3}$$

ここで，$\delta_b = y_b - y_a$

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-13 に示す。

表 4-1 評価条件

q (N/m^2)	G (-)	ΔP (N/m^2)	W_M (N)
6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

表 4-2 評価条件（原動機取付ボルト）

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m^2)
487.1	1175.9	1663.0	1.2	2.73	8.354

ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm^2)
M42	8	1385

表 4-3 評価条件（原動機台取付ボルト）

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m^2)
324.4	1013.2	1500.3	1.2	4.557	12.15

ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm^2)
M42	8	1385

表 4-4 評価条件（据付面基礎ボルト）

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m^2)
541.2	1306.6	1847.8	1.2	4.557	12.15

ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm^2)
M42	8	1385

表 4-5　評価条件（原動機フレーム）

C (-)	h (mm)	A (m^2)	D (mm)	d (mm)
1.2	1365	8.354	1890	1878

表 4-6　評価条件（一次側端子箱取付ボルト）

C (-)	A (m^2)	ボルト サイズ	A_b (mm^2)	m (kg)	g (m/s^2)
2.4	0.3910	M12	113.1	75	9.80665

N* (-)	h (mm)	L_1 (mm)	L_H (mm)
8(3)	153	250	238

注記　＊：（ ）内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-7　評価条件（上部軸受ブラケット取付ボルト）

C (-)	A (m^2)	ボルト サイズ	A_b (mm^2)	N (-)	L_1 (mm)
1.2	1.666	M30	706.9	8	303.1

L_2 (mm)	L_3 (mm)	h_u (mm)
731.7	1034.7	824

表 4-8　評価条件（上部軸受タンクカバー取付ボルト）

C (-)	A (m^2)	ボルト サイズ	A_b (mm^2)	N (-)	L_1 (mm)
1.2	0.3929	M12	113.1	16	109.7

L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_6 (mm)	L_7 (mm)
312.5	577.5	864.3	1129.2	1332.0	1441.8

h_u (mm)
260.2

(2)　動的機能維持評価の評価条件

「3.　強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-9～表 4-13 に示す。

表 4-9　評価条件（たわみ量の算出）

原動機台の風力係数 C (-)	原動機フレームの風力係数 C (-)	一次側端子箱の風力係数 C (-)	上部軸受ブラケットの風力係数 C (-)	上部軸受タンクカバーの風力係数 C (-)
1.2	1.2	2.4	1.2	1.2

原動機台の受圧面積 A (m^2)	原動機フレームの受圧面積 A (m^2)	一次側端子箱の受圧面積 A (m^2)	上部軸受ブラケットの受圧面積 A (m^2)	上部軸受タンクカバーの受圧面積 A (m^2)
3.800	3.420	0.3234	1.273	0.3929

表 4-10　評価条件（原動機下部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (℃)	q (N/m^2)	G (-)	ΔP (N/m^2)	W_M (N)
SS400	50	6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

h_1' (mm)	h_2' (mm)	a_1 (mm)	a_2 (mm)	E_p (MPa)	I_p (mm^4)
407	73	1872	334	201000	2.895×10^{10}

E_m (MPa)	I_m (mm^4)
201000	1.576×10^{10}

表 4-11　評価条件（原動機下部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算モデルの材質	温度 (℃)	E_m' (MPa)	I_m' (mm^4)	x_a' (mm)	y_a (mm)
S25C	50	201000	2.424×10^8	1064	0.05579

表 4-12　評価条件（原動機上部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (℃)	q (N/m^2)	G (-)	ΔP (N/m^2)	W_M (N)
SS400	50	6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

x (mm)	h_3' (mm)	a_3 (mm)	E_m (MPa)	I_m (mm^4)
1750	0	407	201000	1.576×10^{10}

表 4-13　評価条件（原動機上部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算モデルの材質	温度 (℃)	E_m' (MPa)	I_m' (mm^4)	x_b' (mm)	y_b (mm)
S25C	50	201000	2.424×10^8	1823	0.1448

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と残留熱除去系海水系ポンプの外殻を構成する部材の厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは，残留熱除去系海水系ポンプの外殻を構成する部材の厚さ未満である。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果（砂利）

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
残留熱除去系海水系ポンプ	2.3 (一次側端子箱)	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原動機取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

原動機取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-3 評価結果（原動機取付ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	19	153
せん断	9	118
組合せ	19	153

b. 原動機台取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

原動機台取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-4　評価結果（原動機台取付ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	53	153
せん断	13	118
組合せ	53	153

c.　据付面基礎ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

据付面基礎ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-5　評価結果（据付面基礎ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	41	195
せん断	13	150
組合せ	41	195

d.　原動機フレーム

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6 に示す。

原動機フレームに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-6　評価結果（原動機フレーム）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	9	273

e.　一次側端子箱取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-7 に示す。

一次側端子箱取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-7　評価結果（一次側端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	16	168
せん断	9	129
組合せ	16	168

f. 上部軸受ブラケット取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-8 に示す。

上部軸受ブラケット取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-8 評価結果（上部軸受ブラケット取付ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	7	153
せん断	4	118
組合せ	7	153

g. 上部軸受タンクカバー取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-9 に示す。

上部軸受タンクカバー取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-9 評価結果（上部軸受タンクカバー取付ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	2	153
せん断	3	118
組合せ	2	153

(3) 動的機能維持評価結果

a. 原動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-10 に示す。

原動機下部軸受部の発生荷重は，許容荷重以下である。

表 5-10 評価結果（原動機下部軸受部）

発生荷重W” (N)	許容荷重 (N)
6770	[redacted]

b. 原動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-11 に示す。

原動機上部軸受部の発生荷重は，許容荷重以下である。

表 5-11　評価結果（原動機上部軸受部）

発生荷重W” (N)	許容荷重 (N)
2148	[redacted]

Ⅴ-3-別添 1-1-3　残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 2
2.4 適用規格 4
3. 強度評価方法 5
3.1 記号の定義 5
3.2 評価対象部位 6
3.3 荷重及び荷重の組合せ 7
3.4 許容限界 9
3.5 評価方法 11
4. 評価条件 13
5. 強度評価結果 14

1. 概要

本資料は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，残留熱除去系海水系ストレーナが竜巻時及び竜巻通過後においても，海水中の固形物を除去する機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

残留熱除去系海水系ストレーナについて，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，残留熱除去系海水系ストレーナの「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

残留熱除去系海水系ストレーナは，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外の海水ポンプ室に設置する。

海水ポンプ室の位置図を図2-1に示す。

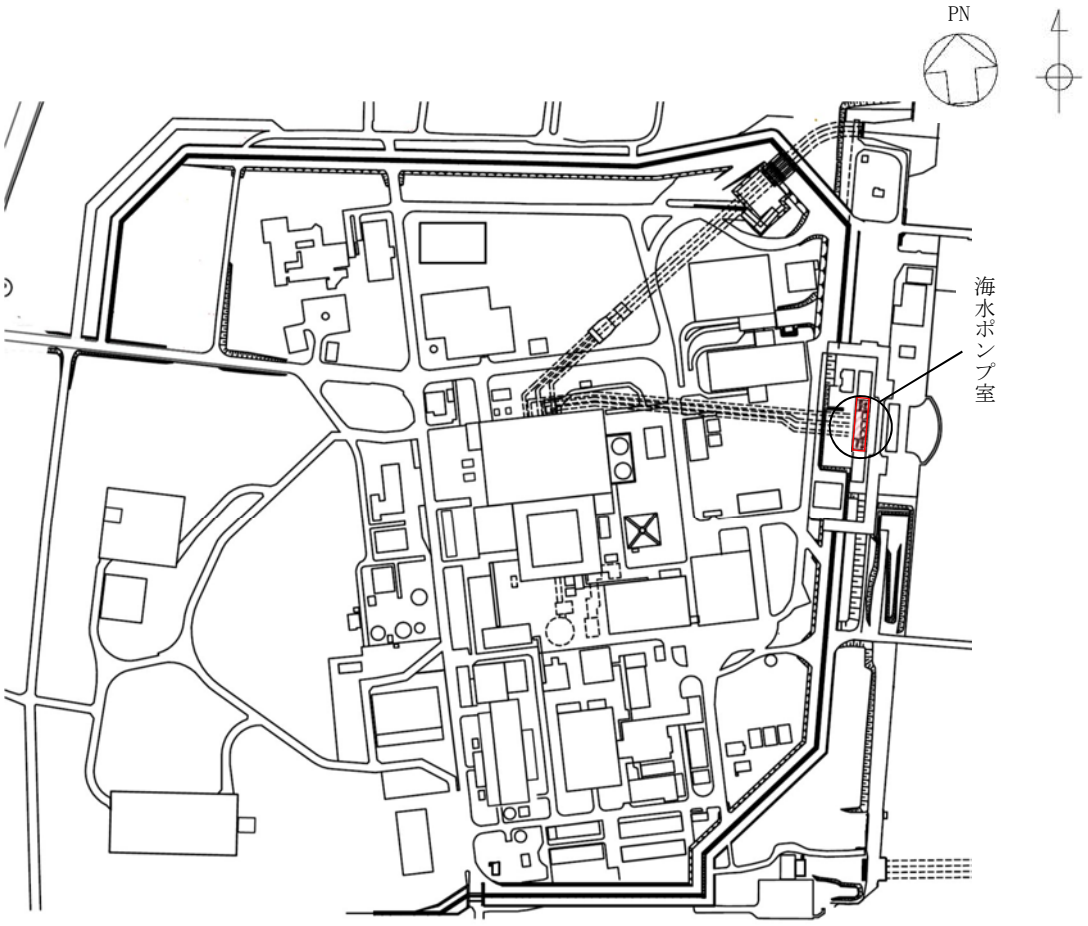


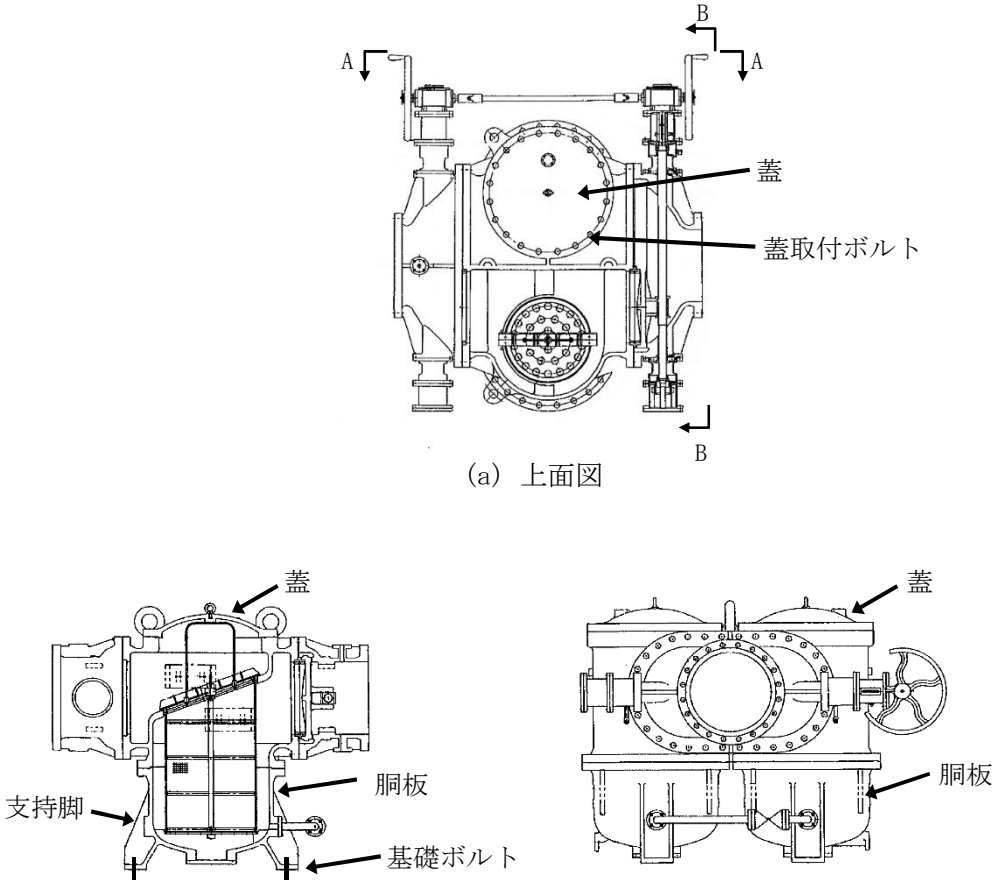
図 2-1　海水ポンプ室の位置図

2.2　構造概要

残留熱除去系海水系ストレーナの構造について，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

残留熱除去系海水系ストレーナは，胴板と支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を並べて組み合せた構造であり，支持脚が基礎ボルトで固定されている。ストレーナの上部開口には蓋が設置されており，同一設計の残留熱除去系海水系ストレーナを2台設置している。

残留熱除去系海水系ストレーナの概要図を図2-2に示す。



(a) 上面図

(b) 側面図（A-A 矢視）

(c) 側面図（B-B 矢視）

図2-2　残留熱除去系海水系ストレーナの概要図

2.3　評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が，許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

(1)　衝突評価の評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては，防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価における許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

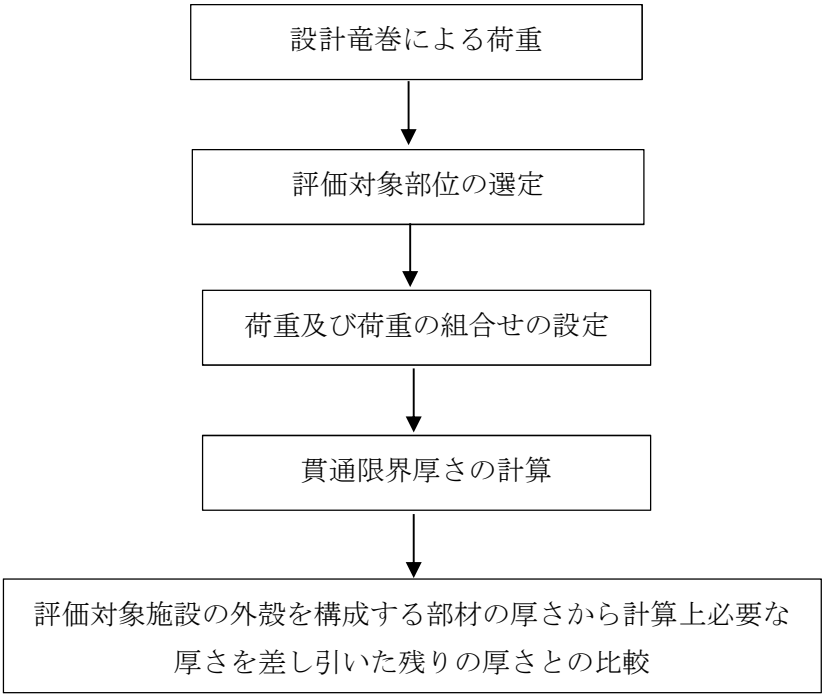


図2-3　残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価フロー

(2)　構造強度評価の評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価フローを図2-4に示す。構造強度評価においては，残留熱除去系海水系ストレーナに対して，設計竜巻による荷重に自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価において，その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の構造強度評価には，設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-

1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓとする。

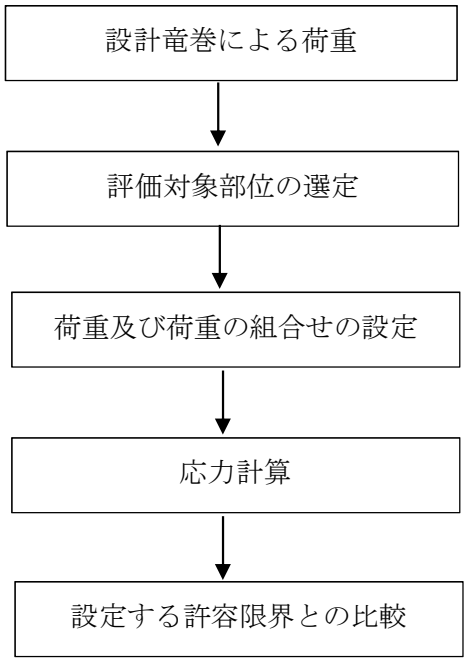


図2-4　残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・「タービンミサイル評価について」（昭和52年7月20日　原子炉安全専門審査会）
・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（社）日本電気協会
・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ＪＳＭＥ Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）

3.　強度評価方法

3.1　記号の定義

(1)　衝突評価の記号の定義

残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1　衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
D_i	mm	胴の内径
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	－	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
P	MPa	最高使用圧力
S	MPa	許容引張応力
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
t	mm	胴の計算上必要な厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
η	－	継手効率

(2)　構造強度評価の記号の定義

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2　構造強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_b	mm^2	基礎ボルトの軸断面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
D_o	mm	ストレーナ幅（全幅）
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_b	N	基礎ボルトに対する引張力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	ストレーナ高さ（全高）
h	mm	ストレーナ重心高さ

表3-2　構造強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
L_1	mm	基礎ボルト間の水平距離
L_H	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	容器の有効運転質量*
N	－	基礎ボルトの本数
n_f	－	引張力を受ける基礎ボルトの本数
Q_b	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻による気圧差による荷重
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T1}=W_P$）
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$）
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
π	－	円周率
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

注記　＊：有効運転質量は，容器の満水時における質量とする。

3.2　評価対象部位

残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1)　衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により，残留熱除去系海水系ストレーナに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため，貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

残留熱除去系海水系ストレーナの全方向からの飛来物を考慮し，貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として胴板を選定する。

残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

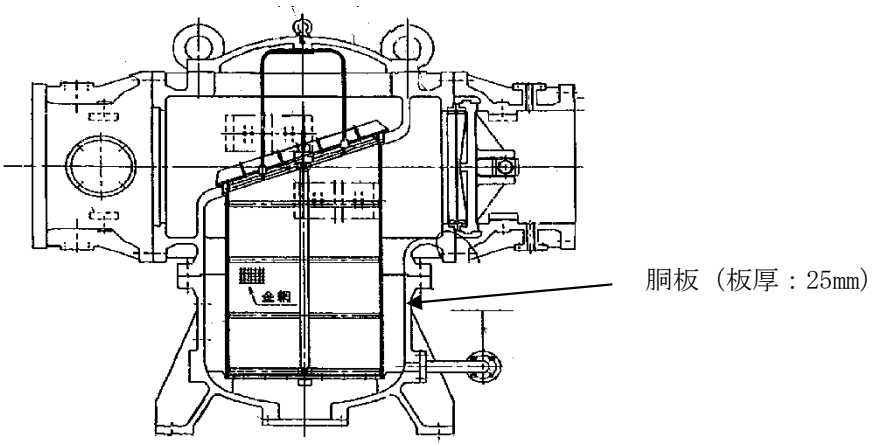


図3-1　残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価の評価対象部位

(2)　構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は，胴板及び支持脚を介して基礎ボルトに作用する。設計竜巻による荷重により発生する応力は，胴板及び支持脚と比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

なお，ストレーナ蓋はドーム型形状であること，かつ受圧面積も小さいため設計竜巻の影響は小さいことから，ストレーナ蓋取付ボルトは評価対象部位として選定しない。

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価における評価対象部位を，図3-2に示す。

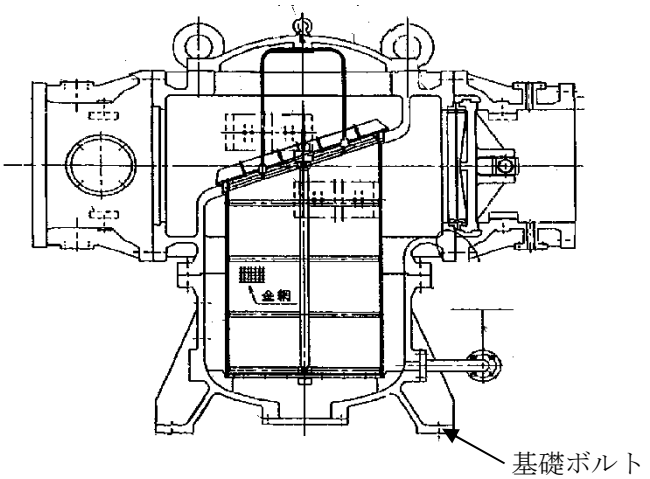


図3-2　残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価の評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として，防護ネット（ネットの網目寸法40(㎜)）をすり抜ける砂利を設定し，砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては，評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず，貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-3，残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価に用いる荷重を表3-4に示す。

表3-3　砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-4　残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	残留熱除去系海水系ストレーナ	胴板	飛来物による衝撃荷重

(2)　構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a.　荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

(a)　常時作用する荷重

常時作用する荷重として，持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

自重による荷重＝m・g

(b)　設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。また，防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で，衝突時間が極めて短く，衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから，機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ.　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い，算出する。

$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$

ロ.　気圧差による荷重(W_P)

気圧差による荷重W_Pは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(b) 気圧差による荷重」に示す式に従い，算出する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

ハ.　荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重W_T(W_{T1}, W_{T2})は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い，算出する。なお，評価対象部位は基礎ボルトであり，気圧差による荷重は発生しないため，複合荷重の選定において，W_{T2}としては気圧差を考慮するが，W_{T1}の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

(c)　運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重として，内包水の荷重を自重に含めて考慮する。

b.　荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ設定する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5　荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	残留熱除去系海水系ストレーナ	基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重

3.4　許容限界

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ及びＪＥＡＧ４６０１に基づく許容応力状態III_AＳの許容応力の許容荷重を用いる。

(1)　衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は，評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し，外殻を構成する部材が，機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため，評価式により算定した貫通限界厚さが残留熱除去系海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

残留熱除去系海水系ストレーナにおける計算上必要な厚さは，ＪＳＭＥ　PVC-3120（胴の厚さの規定）に基づき，以下の式より算出する。

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

残留熱除去系海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表3-6に示す。

表3-6　残留熱除去系海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
残留熱除去系海水系ストレーナ	25	12.9	12.1

(2)　構造強度評価の許容限界

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス2,3支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態III_AＳから算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価における許容限界を表3-7，許容応力を表3-8に示す。

表3-7　残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
基礎ボルト	III_AＳ	一次応力	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	Min｛$1.5\ f_t$，$(2.1\ f_t - 1.6\tau)$｝

表 3-8　残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価における許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5f_t$ (MPa)	$1.5f_s$ (MPa)
基礎ボルト	SS400	50*	231	394	231	173	133

注記　＊：周囲環境温度

3.5　評価方法

(1)　衝突評価の評価方法

残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot v^{2}}{1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2)　構造強度評価の評価方法

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

a.　計算モデル

設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重，有効運転質量を考慮した荷重に対する，基礎ボルトの構造健全性を 1 質点系モデルとして計算を行う。ここで，荷重の作用点は評価上高さの 1/2 より高いストレーナの重心位置とする。残留熱除去系海水系ストレーナのモデル図を図 3-3 に示す。

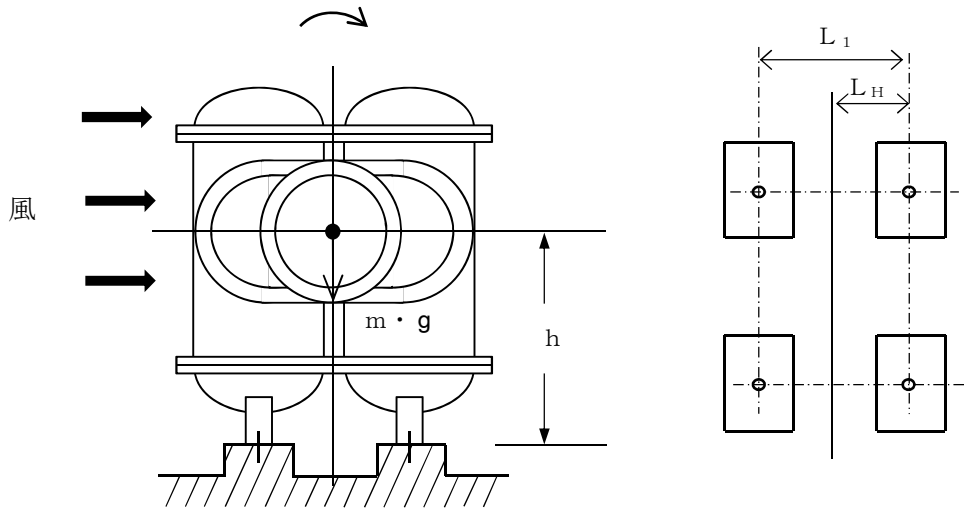


図 3-3　残留熱除去系海水系ストレーナモデル図

b.　計算方法

(a)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 3-3 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

イ．　引張力

$$F_b = \frac{W_{T2} \cdot h - m \cdot g \cdot L_H}{n_f \cdot L_1}$$

ロ．　引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

(b)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

イ．　せん断力

$$Q_b = W_{T2}$$

ロ．　せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1　評価条件

q (N/m^2)	G (-)	ΔP (N/m^2)	W_M (N)
6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

表 4-2　評価条件（胴板）

P (MPa)	D_i (mm)	S (MPa)	η (－)
3.45	790	108	1.0

表 4-3　評価条件（基礎ボルト）

L_H (mm)	L_1 (mm)	C (-)	D_0 (mm)	H (mm)	A (m^2)
515	1030	2.4	2140	1755	3.76

m (kg)	g (m/s^2)	ボルト サイズ	N (-)	n_f (-)	A_b (mm^2)
9850	9.80665	M30	4	2	706.9

h (mm)	W_{T2} (N)
1188	71780

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と残留熱除去系海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは，残留熱除去系海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果（砂利）

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
残留熱除去系海水系ストレーナ	12.1	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

基礎ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-3 評価結果（基礎ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	25	173
せん断	26	133
組合せ	25	173

Ⅴ-3-別添 1-1-4　主排気筒の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 4
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 評価対象部位及び評価方針 6
3.2 荷重及び荷重の組合せ 6
3.3 許容限界 18
3.4 評価方法 18
4. 評価条件 20
5. 評価結果 22
5.1 筒身，主柱材，斜材，水平材，補助柱材，補助斜材，補助水平材 22
5.2 筒身脚部及び鉄塔脚部（評価方法を含む） 29

1. 概要

本資料は，添付書類「V-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，主排気筒が竜巻時及び竜巻通過後においても，主排気筒の機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

主排気筒について，添付書類「V-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，主排気筒の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

主排気筒は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり，屋外に設置する。

主排気筒の位置図を図2-1に示す。

図 2-1　主排気筒の位置図

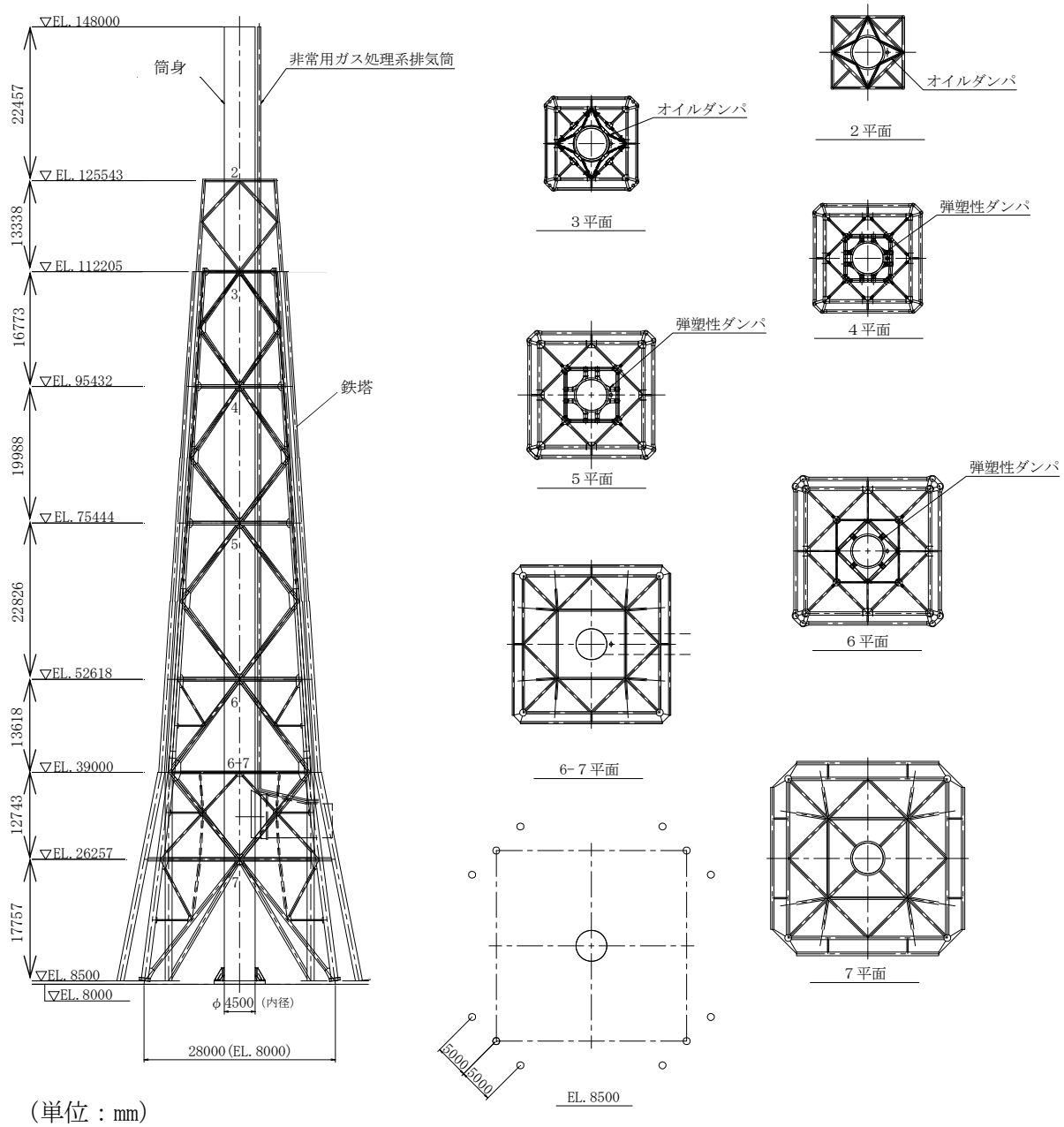
2.2　構造概要

主排気筒は，鉄塔支持型の鋼製排気筒である。中央の内径4.5 m，高さ140 mの筒身にかかる水平力を周囲の根開き28 m，高さ104.205 m（EL.112.205 m）の鋼管トラスの4脚鉄塔を補強して支える構造である。補強部分は高さ117.543 m（EL.125.543 m）まで主柱を伸ばすとともに，高さ104.205 m（EL.112.205 m）以下において8脚増やす。筒身と鉄塔は，図2-2に示す6ヶ所で接続され，制振サポート（以下「オイルダンパ」という。）と弾塑性ダンパで接合した制震構造である。筒身の下端は固定である。

以下に，構造概要を示す。

構造概要

- 構造形式　　鉄塔支持型鋼製
- 筒身高さ　　EL.148.000 m
- 鉄塔高さ　　EL.125.543 m
- 筒身径　　φ 4.500 m（内径）
- 鉄塔開き　　頂部開き　　10.387 m
  基部開き　　28.000 m
- 支持点位置　　EL.125.543 m，EL.112.205 m，EL.95.432 m，EL.75.444 m，EL.52.618 m，EL.26.257 m
- 接続方法　　オイルダンパ（EL.125.543 m，EL.112.205 m），
  弾塑性ダンパ（EL.95.432 m，EL.75.444 m，EL.52.618 m），
  高力ボルト接合（EL.26.257 m）
- 基礎　　鉄筋コンクリート造



（単位：mm）

図 2-2　主排気筒概要図

2.3　評価方針

主排気筒の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，主排気筒の評価対象部位に作用する応力が，許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

主排気筒の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

(1)　強度評価方針

主排気筒の筒身及び鉄塔の強度評価フローを図 2-3 に示す。強度評価においては，主排気筒の構造を踏まえ，設計竜巻による荷重に自重を加えた荷重が主排気筒に作用した場合に，主排気筒の各評価対象部位に作用する荷重，応力等を，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す応力解析による最大部材応力に対して，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。

なお，設計竜巻による荷重が耐震評価における荷重に包絡される場合においては，耐震評価の結果により，評価対象部位が許容限界以下であることを確認する。ここで，設計竜巻による飛来物の衝突は，主排気筒の主要な支持機能を有する鉄塔部材を損傷させるものとして考慮し，強度評価においては，飛来物の衝突による衝撃荷重は考慮しないこととする。また，筒身への飛来物の衝突についても，鉄塔部材の損傷想定に包含される。

なお，上記のような損傷を想定しても，主排気筒の有する安全機能を発揮すべき事象（運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故に伴う放射性物質の放出）が竜巻に起因して発生することはなく，また筒身に損傷が生じた場合は安全上支障の無い期間に補修する方針としていることから，主排気塔の安全機能に対する影響はない。

主排気筒の筒身及び鉄塔の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である材料強度より算出した弾性限耐力とする。

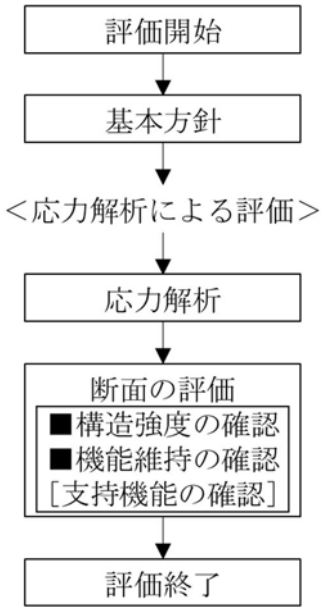


図 2-3　主排気筒の筒身及び鉄塔の強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 建築基準法及び同施行令
- 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005）
- 容器構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1988）
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1999）
- 煙突構造設計施工指針（（一財）日本建築センター，1982）
- 塔状鋼構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，1980）
- 煙突構造設計指針（（社）日本建築学会，2007）
- 日本工業規格（ＪＩＳ）
- 2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）

3.　強度評価方法

3.1　評価対象部位及び評価方針

主排気筒の応力解析による評価対象部位は，設計竜巻による荷重を受ける主排気筒の筒身，筒身を支持する鉄塔主要部材（主柱材，斜材，水平材，補助柱材，補助斜材，補助水平材，鉄塔脚部）及び筒身とする。

強度評価は，図 3-1 に示す評価フローに基づき，設計荷重に対して，3 次元ＦＥＭを用いた弾性応力解析を行う。

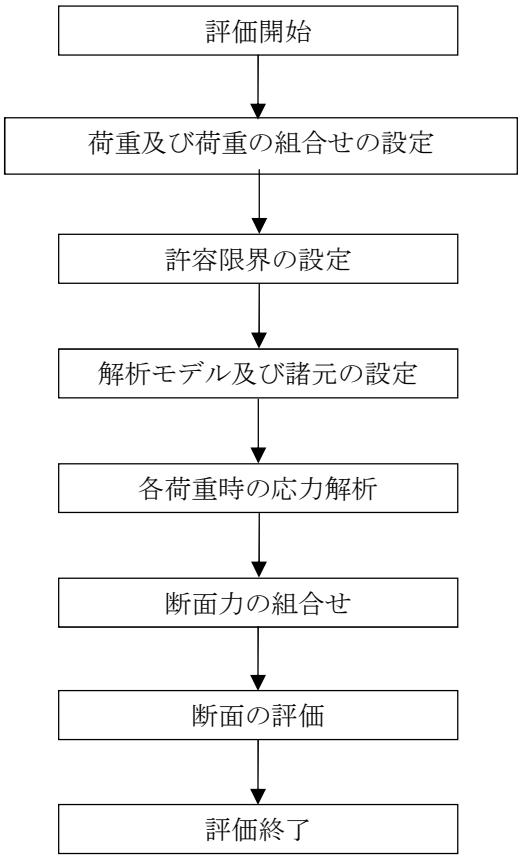


図 3-1　応力解析による評価フロー

3.2　荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

a.　固定荷重

固定荷重として，持続的に生じる荷重である筒身及び鉄塔の自重の他に，ダンパ，歩廊等の付属設備の重量を考慮する。

b.　設計竜巻による荷重

屋外の施設であるため風圧力による荷重を考慮する。

(a)　風圧力による荷重（W_W）

風圧力による荷重W_Wは，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い，算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

これより，主排気筒に作用する風荷重は，次式によって算定する。

$$W_{D1} = q_1 \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで

W_{D1} ：地表面からの高さZにおける風荷重（N）

q_1 ：速度圧（q_1=6100）（N/m）

G ：ガスト影響係数（G＝1.0）

C ：風力係数

（筒身部：C＝0.9k_z｛煙突その他の円筒構造物｝）

（鉄塔部：｛ラチス構造物の風力係数C｝）

k_z ：k_z＝1.0とする。

A ：地表面からの高さZにおける風向に垂直な面に投影した建築物の面積（見付面積）（m^2）

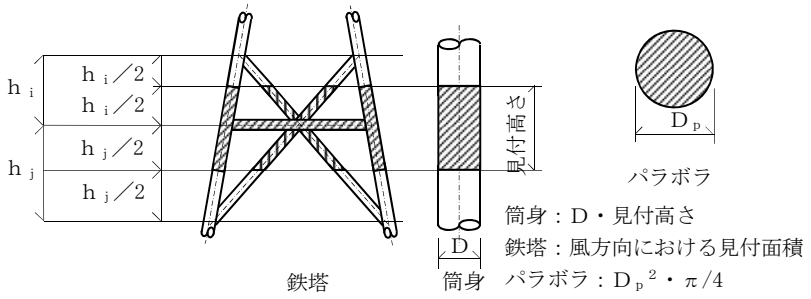


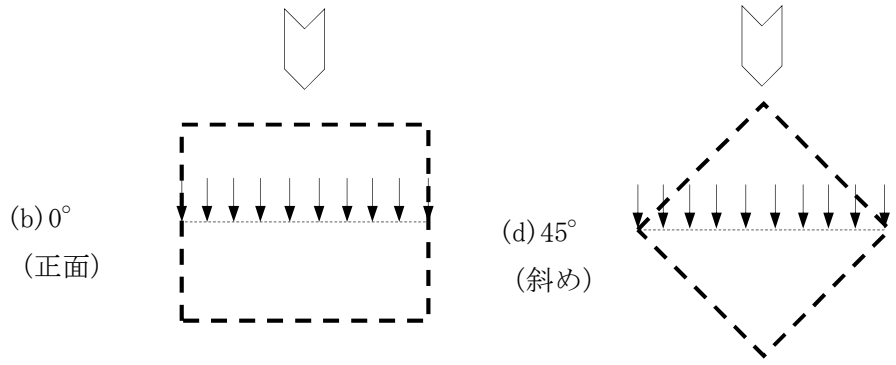
図 3-2　鉄塔及び筒身の見付面積A

表 3-1　ラチス構造物の風力係数C

種類 ＼ φ		(1)	(2)	(3)
		0.1以下	0.1を超え0.6未満	0.6
鋼管	(b) 0°（正面）	2.2k_z	(1)と(3)とに掲げる数値を直線的に補間した数値	1.5k_z
	(d) 45°（斜め）	1.7k_z		1.3k_z

ここで，φ：充実率

（風を受ける部分の最外縁に囲まれる面積に対する見付面積の割合）



注１：上図はラチスばり及びラチス柱の断面を表す。

注2：風圧作用面積としては，〉 の作用する方向から見たラチス構面の見付面積とする。

図 3-3　ラチス構造物

(b)　竜巻の荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重W_T(W_{T1}, W_{T2})は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い，算出する。

$W_{T1} = W_P$

$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$

なお，主排気筒は大気中に開かれており，主排気筒内外に気圧差が生じ難い構造であるため，気圧差による荷重は考慮しない($W_P = 0$)。

また，「2.3(1) 強度評価方針」に示したとおり，設計飛来物による衝撃荷重W_Mは，飛来物の影響は鉄塔部材を損傷させるものとして考慮していることから考慮しない($W_M = 0$)。鉄塔部材の損傷を想定する箇所については，座屈の観点から軸力（圧縮）の影響を考慮し，健全時に負担する軸力（圧縮）が最大であり，損傷による荷重の再配分の影響が最も大きい最下層の主柱の補助柱とする。

図3-4に，主排気筒の評価用モデル及び損傷を想定する箇所を示す。

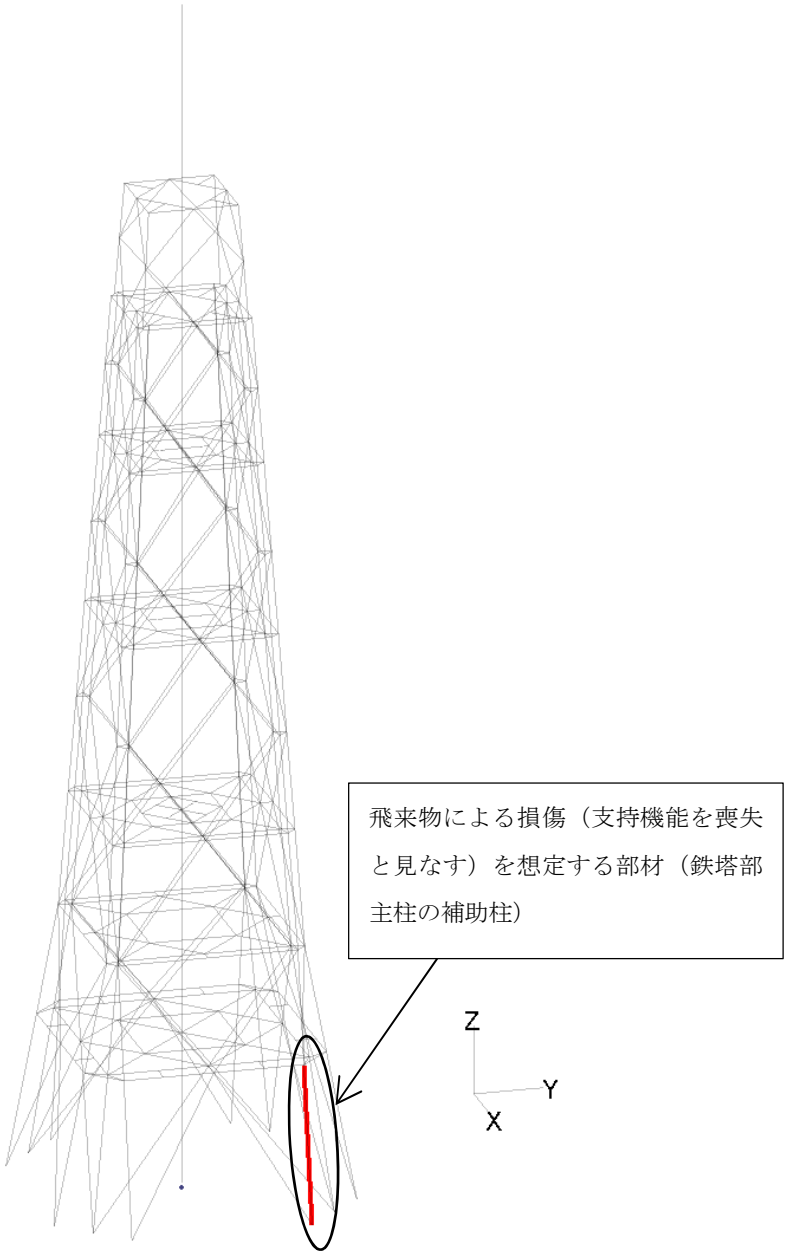


図3-4　主排気筒の評価用モデル及び飛来物による損傷想定箇所

したがって，設計竜巻による複合荷重W_{T1}は0となり，W_{T2}を設計竜巻による荷重として正面方向，斜め方向それぞれに対して考慮する。

各荷重を，表 3-2～表 3-6 及び図 3-5～図 3-8 に示す。

表 3-2　鉄塔及び筒身の固定荷重

EL. (m)	固定荷重 (kN)		
	筒身	鉄塔	計
148.000	0	―	0
138.000	141	―	141
125.543	299	0	299
112.205	333	339	672
95.432	379	937	1316
75.444	466	1443	1909
52.618	527	1854	2381
26.257	616	2705	3321
8.500	531	3383	3914

注記：ダンパ，歩廊等の付属設備の重量は，
鉄塔重量に含む。

表 3-3　筒身のせん断力

EL. Z (m)	層間高さ h (m)	せん断力 (kN)	
		竜巻風荷重	
		正面方向	斜め方向
148.000	10.000	0	0
138.000	12.457	124	124
125.543	13.338	335	335
112.205	16.773	639	639
95.432	19.988	992	992
75.444	22.826	1543	1543
52.618	26.361	376	369
26.257	17.757	89	60
8.500	0.000	242	268

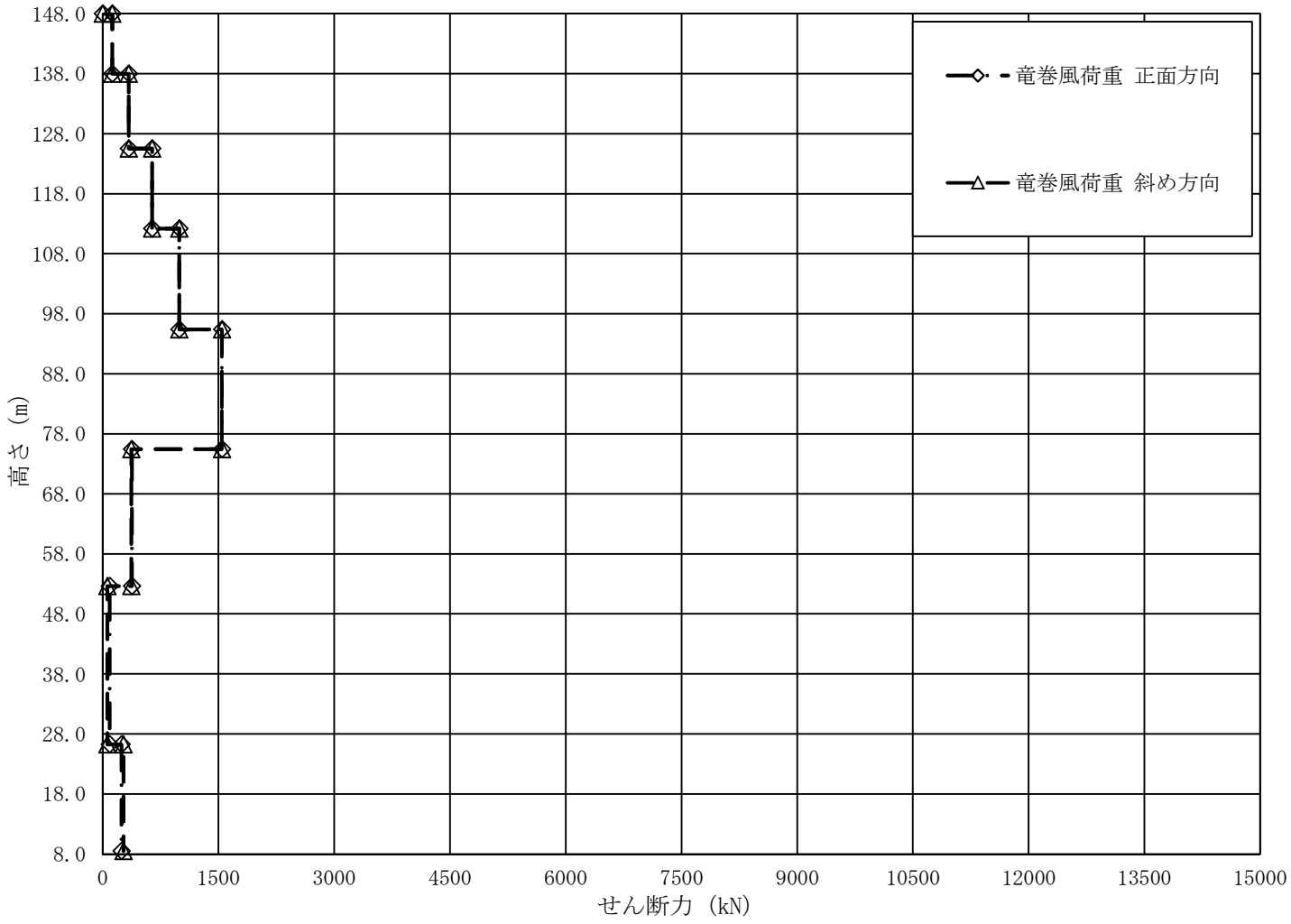

148.0
138.0
128.0
118.0
108.0
98.0
88.0
78.0
68.0
58.0
48.0
38.0
28.0
18.0
8.0
高さ（m）
0
1500
3000
4500
6000
7500
9000
10500
12000
13500
15000
せん断力（kN）
竜巻風荷重 正面方向
竜巻風荷重 斜め方向

図 3-5　筒身のせん断力

表 3-4　筒身の曲げモーメント

EL. Z (m)	層間高さ h (m)	曲げモーメント (kN・m) 竜巻風荷重 正面方向	 斜め方向
148.000	10.000	0	0
138.000	12.457	1240	1240
125.543	13.338	6259	6259
112.205	16.773	15910	15910
95.432	19.988	34339	34339
75.444	22.826	5871	5868
52.618	26.361	524	679
26.257	17.757	2479	3280
8.500	0.000	11963	13920

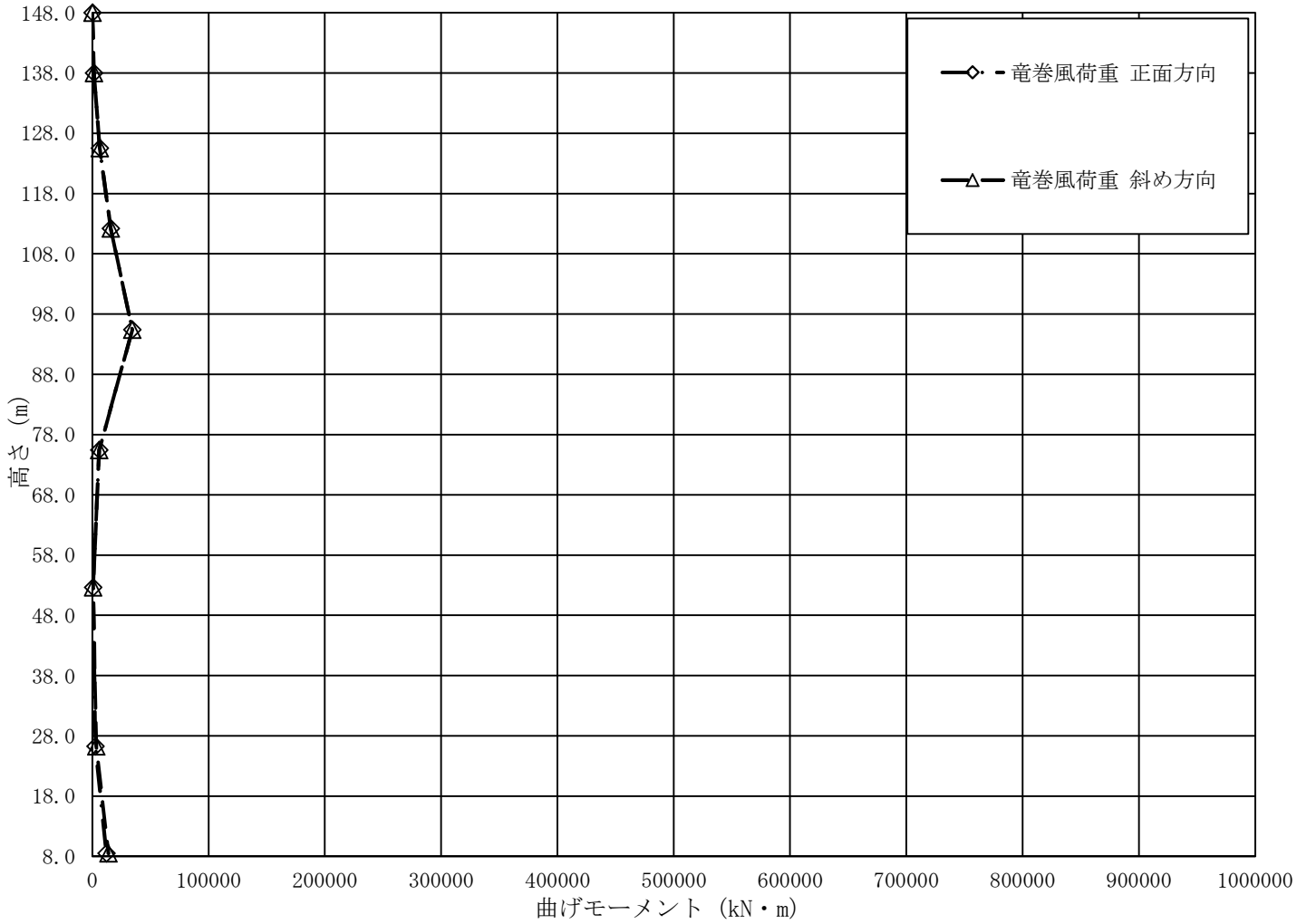


図 3-6　筒身の曲げモーメント

表 3-5　鉄塔のせん断力

EL. Z (m)	層間高さ h (m)	せん断力（kN） 竜巻風荷重 正面方向	 斜め方向
148.000	10.000	-	-
138.000	12.457	-	-
125.543	13.338	0	0
112.205	16.773	113	139
95.432	19.988	523	670
75.444	22.826	1306	1709
52.618	26.361	3945	4699
26.257	17.757	6201	7455
8.500	0.000	8745	10668

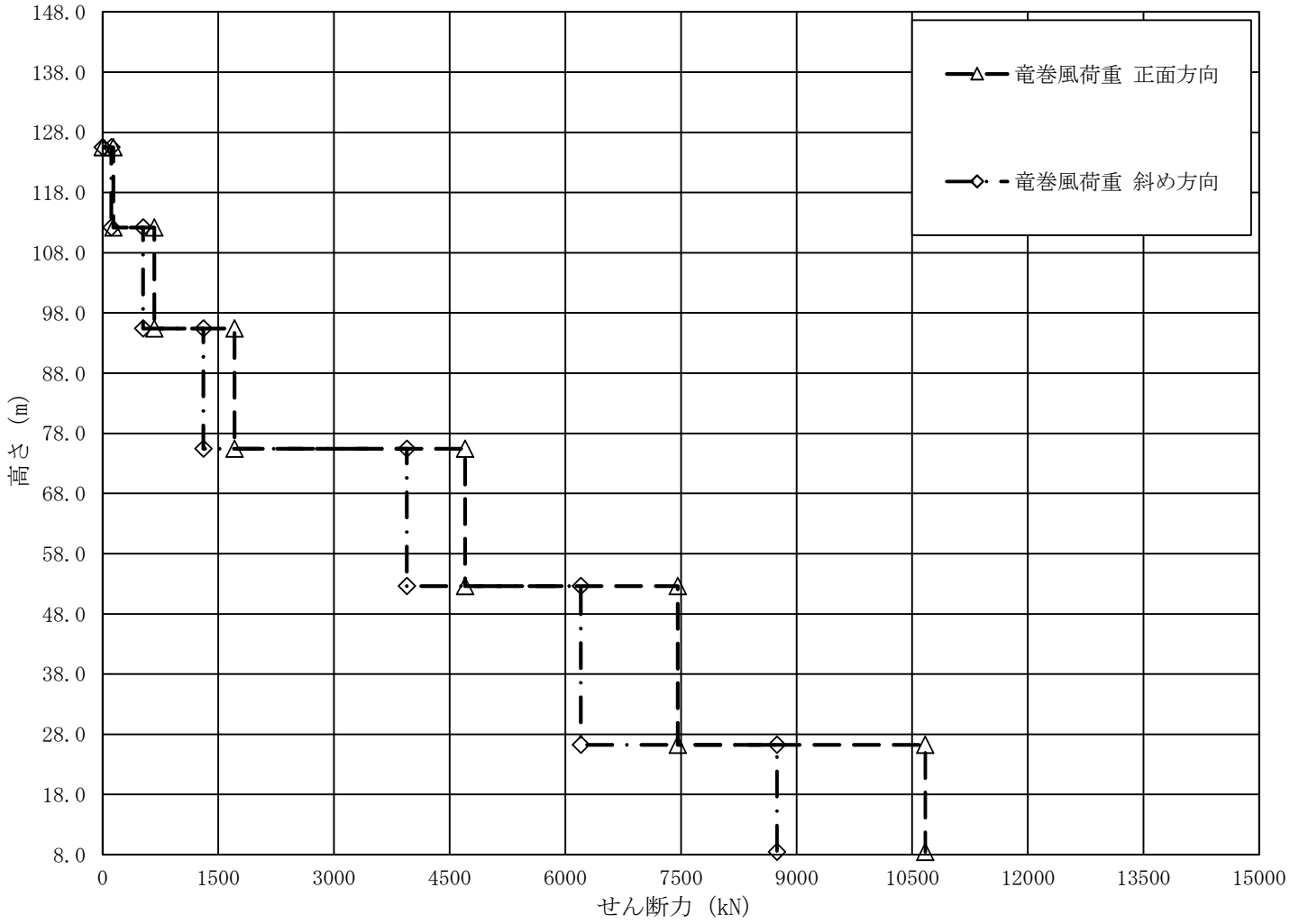

148.0
138.0
128.0
118.0
108.0
98.0
88.0
78.0
68.0
58.0
48.0
38.0
28.0
18.0
8.0
高さ（m）
0
1500
3000
4500
6000
7500
9000
10500
12000
13500
15000
せん断力（kN）
竜巻風荷重 正面方向
竜巻風荷重 斜め方向

図 3-7　鉄塔のせん断力

表 3-6　鉄塔の曲げモーメント

EL. Z (m)	層間高さ h (m)	曲げモーメント (kN・m) 竜巻風荷重	
		正面方向	斜め方向
148.000	10.000	-	-
138.000	12.457	-	-
125.543	13.338	0	0
112.205	16.773	2533	3159
95.432	19.988	13833	17900
75.444	22.826	105517	119134
52.618	26.361	219285	252231
26.257	17.757	398503	467019
8.500	0.000	548605	650574

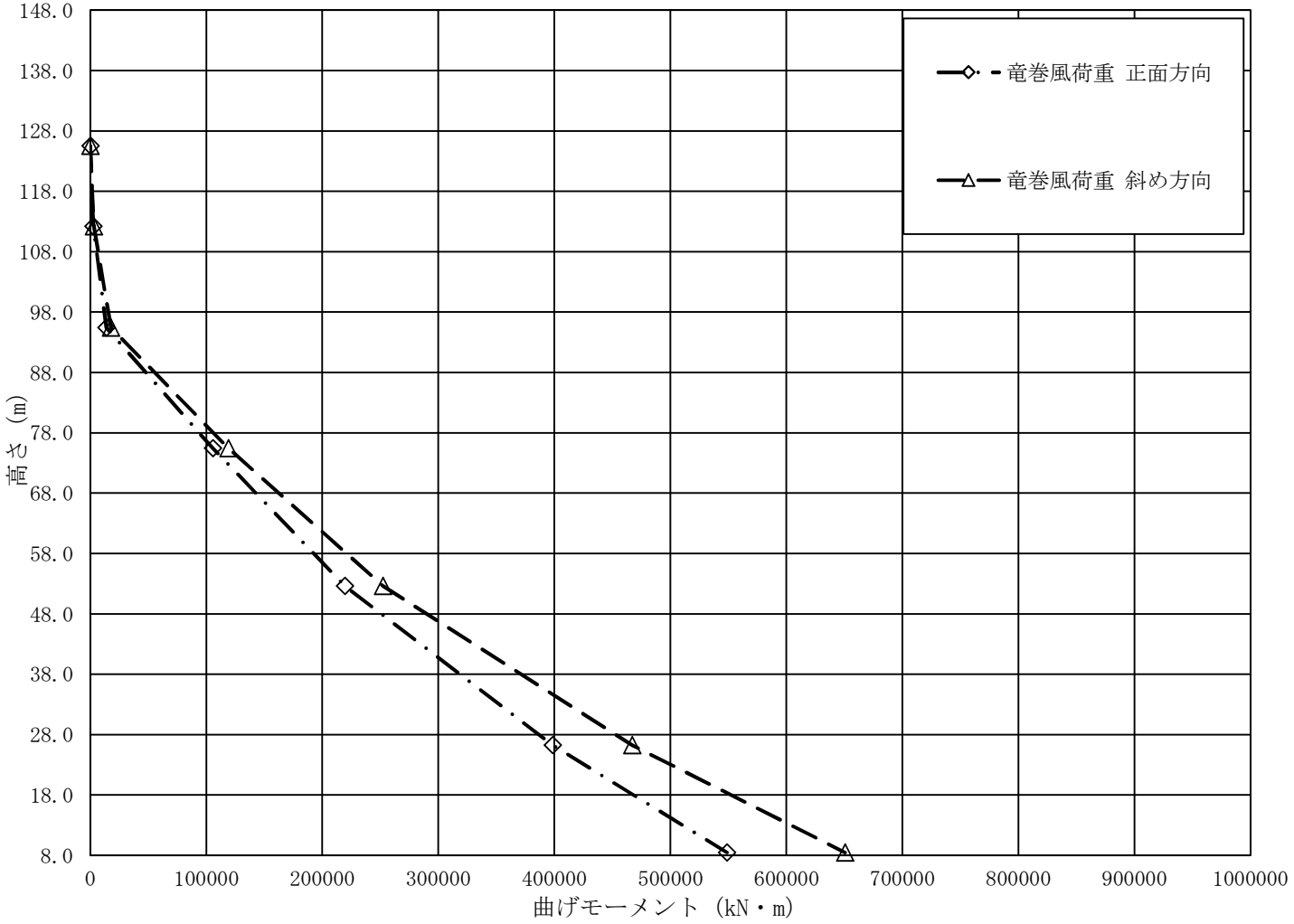


図 3-8　鉄塔の曲げモーメント

(2)　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて，主排気筒の評価対象部位ごとに設定する。

強度評価の荷重の組合せを，表 3-7 に示す。

表 3-7　荷重の組合せ

組合せ荷重ケース	荷重状態	荷重の組合せ	水平荷重方向
ケース 1	竜巻時	①自重 ②風圧力による荷重	正面
ケース 2			斜め

3.3　許容限界

主排気筒の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.1 評価対象部位及び評価方針」にて設定した評価対象部位ごとに材料強度より算出した弾性限耐力を用いる。

強度評価の許容限界（準拠規格・基準等）を，表 3-8 に示す。

表 3-8　許容限界（準拠規格・基準等）

評価対象部位	準拠基準等	備考
筒身	容器構造設計指針 短期	Ｆ=1.1Ｆと読み替える（建告第 2464 号に規定されたＪＩＳ規定品のみ）
鉄塔	告示 材料強度	

3.4　評価方法

(1)　応力評価方法

主排気筒について，3 次元ＦＥＭを用いた弾性応力解析を実施する。評価用モデルは，図 3-4 に示すとおり。

(2)　断面の評価方法

主排気筒の断面の評価に用いる応力は，3 次元ＦＥＭモデルを用いた応力解析により得られた各荷重による断面力（軸力，曲げモーメント，せん断力）を組み合せることにより算定する。解析には，解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を用いる。なお，評価に用いた解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」の検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

a.　筒身に対する断面の評価方法

(a)　応力検定

応力に対する断面算定は，「容器構造設計指針・同解説」に準拠して行う。

なお，断面性能の算定においては，腐食代 2 ㎜（外側：1 ㎜，内側：1 ㎜）を控

除した値を用いる。

$$\frac{\sigma_c}{{}_cf_{cr}}+\frac{{}_c\sigma_b}{{}_bf_{cr}} \leqq 1$$

かつ

$$\frac{\tau}{{}_sf_{cr}} \leqq 1$$

ここで

σ_c ：平均圧縮応力度（$\sigma_c=N\cdot10^3/A$）（N/mm²）
N ：圧縮力（kN）
A ：円筒の断面積（mm²）
${}_c\sigma_b$ ：圧縮側曲げ応力度（${}_c\sigma_b=M\cdot10^6/Z_c$）（N/mm²）
M ：曲げモーメント（kN･m）
Z_c ：断面係数（mm³）
τ ：せん断応力度（$\tau=Q\cdot10^3/A_s$）（N/mm²）
Q ：せん断力（kN）
A_s ：円筒のせん断断面積（＝A/2）（mm²）
${}_cf_{cr}$ ：圧縮材料強度（N/mm²）
${}_bf_{cr}$ ：曲げ材料強度（N/mm²）
${}_sf_{cr}$ ：せん断材料強度（N/mm²）
（${}_cf_{cr}$，${}_bf_{cr}$，${}_sf_{cr}$ は次項による。）

(b) 材料強度

材料強度は，「平 12 建告第 2464 号」に準拠し，材料強度Ｆ値を 1.1 倍した値を用いて許容応力度を算出し，部材に発生する応力が許容応力度を超えないことを確認する。

b. 鉄塔主要部材に対する断面の評価方法

(a) 応力検定

応力に対する断面算定は，「建築基準法施行令第 96 条」及び「平 13 国交告第 1024 号」に準拠して行う。

なお，断面性能の算定においては，腐食代１ ㎜（外側のみ１ ㎜）を控除した値を用いる。

$$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$$

ここで

σ_c ：平均圧縮応力度（$\sigma_c=N\cdot10^3/A$）（N/mm²）
σ_b ：曲げ応力度（$\sigma_b=M\cdot10^6/Z_t$）（N/mm²）
f_c ：圧縮材料強度（N/mm²）
f_b ：曲げ材料強度（N/mm²）

N　　：圧縮力（kN）

A　　：断面積（mm^2）

M　　：曲げモーメント（kN･m）

Z_t　：断面係数（mm^3）

（f_c，f_bは次項による。）

(b)　材料強度

材料強度は，「平 12 建告第 2464 号」に準拠し，材料強度Ｆ値を 1.1 倍した値を用いて算出した許容応力度に対して，部材に発生する応力が超えないことを確認する。

4.　評価条件

(1)　強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件のうち，筒身を表 4-1 に，鉄塔主要部材を表 4-2 に示す。

表 4-1　評価条件（筒身）

使用部材 φ×t (mm)	材質	腐食代 (mm)	重力加速度 g (m/s^2)	空気密度 ρ (kg/m^3)
4532.0×16.0	SS400	内側　1.0 外側　1.0	9.80665	1.22

最大風速 V (m/s)	ガスト 影響係数 G (-)	風力係数 C (-)	k_z (-)	構造物の基準 高さ H (m)	設計用 速度圧 q (N/m^2)
100	1.0	0.9	1.0	140.000	6100

表 4-2　評価条件（鉄塔主要部材）(1/2)

分類	使用部材 φ×t (mm)	材質	腐食代 (mm)
主柱材	406.4×6.4	STK400	外側　1.0
	406.4×12.7		
	558.8×12.7		
	812.8×12.7		
	1016.0×12.7		

表 4-2　評価条件（鉄塔主要部材）(2/2)

分類	使用部材 φ×t (mm)	材質	腐食代 (mm)
斜材	355.6×6.4	STK400	外側　1.0
	457.2×6.4		
	508.0×6.4		
水平材	355.6×6.4	STK400	外側　1.0
	457.2×6.4		
	508.0×6.4		
補助主柱材	406.4×19.0	STK400	外側　1.0
	508.0×19.0	590 材	
	609.6×19.0		
	812.8×19.0		
	1016.0×19.0		
補助斜材	355.6×12.7	STK400	外側　1.0
	457.2×12.7		
	508.0×12.0	STK490	
	558.8×19.0	590 材	
補助水平材	355.6×6.4	STK400	外側　1.0
	457.2×6.4		
	508.0×6.4		

最高使用 温度 (℃)	重力加速度 g (m/s^2)	空気密度 ρ (kg/m^3)	最大風速 V (m/s)	ガスト 影響係数 G_f (-)	k_z (-)
35	9.80665	1.22	100	1.0	1.0

構造物の基準 高さ H (m)	設計用 速度圧 q (N/m^2)
140.000	6100

5.　評価結果

5.1　筒身，主柱材，斜材，水平材，補助柱材，補助斜材，補助水平材

「3.4(2) 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。

(1)　筒身に対する断面評価結果

筒身に対する断面評価のうち，軸力＋曲げに対する評価結果を表 5-1 に，せん断に対する評価結果を表 5-2 に示す。

表 5-1　筒身の断面評価（軸力＋曲げ）

EL. Z (m)	使用部材 Φ× t (mm)	材質 (—)	設計用断面力		断面性能		材料強度		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN･m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_c (mm^3)	圧縮 ${}_cf_{cr}$ (N/mm^2)	曲げ ${}_bf_{cr}$ (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ ${}_c\sigma_b=M/Z_c$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{{}_cf_{cr}}+\frac{{}_c\sigma_b}{{}_bf_{cr}}$
148.000	Φ4532.0×16.0	SS400	141	1240	198600	223000000	192.2	207.2	0.8	5.6	0.04 ≦ 1.00
138.000	Φ4532.0×16.0	SS400	440	6259	198600	223000000	192.2	207.2	2.3	28.1	0.15 ≦ 1.00
125.543	Φ4532.0×16.0	SS400	773	15910	198600	223000000	192.2	207.2	3.9	71.4	0.37 ≦ 1.00
112.205	Φ4532.0×16.0	SS400	1152	34339	198600	223000000	192.2	207.2	5.9	154.0	0.78 ≦ 1.00
95.432	Φ4532.0×16.0	SS400	1618	34339	198600	223000000	192.2	207.2	8.2	154.0	0.79 ≦ 1.00
75.444	Φ4532.0×16.0	SS400	2145	5877	198600	223000000	192.2	207.2	10.9	26.4	0.19 ≦ 1.00
52.618	Φ4532.0×16.0	SS400	2761	3416	198600	223000000	192.2	207.2	14.0	15.4	0.15 ≦ 1.00
26.257	Φ4532.0×16.0	SS400	3292	14022	198600	223000000	192.2	207.2	16.6	62.9	0.39 ≦ 1.00

注記：　腐食代 2 mm（内側：1 mm，外側：1 mm）を控除した断面により算定した断面性能により評価。

表 5-2　筒身の断面評価（せん断）

EL. Z (m)	使用部材 Φ× t (mm)	材質 (—)	設計用断面力		断面性能		材料強度		応力度		判定
			せん断 Q (kN)	曲げ M (kN･m)	せん断断面積 A_s (mm^2)	断面係数 Z_c (mm^3)	せん断 ${}_sf_{cr}$ (N/mm^2)	曲げ ${}_bf_{cr}$ (N/mm^2)	せん断 $\tau=Q/A_s$ (N/mm^2)	曲げ ${}_c\sigma_b=M/Z_c$ (N/mm^2)	$\frac{\tau}{{}_sf_{cr}}$
148.000	Φ4532.0×16.0	SS400	124	－	99300	－	69.6	－	1.3	－	0.02 ≦ 1.00
138.000	Φ4532.0×16.0	SS400	490	－	99300	－	60.9	－	5.0	－	0.09 ≦ 1.00
125.543	Φ4532.0×16.0	SS400	805	－	99300	－	58.5	－	8.2	－	0.15 ≦ 1.00
112.205	Φ4532.0×16.0	SS400	1201	－	99300	－	52.2	－	12.1	－	0.24 ≦ 1.00
95.432	Φ4532.0×16.0	SS400	1544	－	99300	－	47.8	－	15.6	－	0.33 ≦ 1.00
75.444	Φ4532.0×16.0	SS400	376	－	99300	－	44.7	－	3.8	－	0.09 ≦ 1.00
52.618	Φ4532.0×16.0	SS400	273	－	99300	－	41.6	－	2.8	－	0.07 ≦ 1.00
26.257	Φ4532.0×16.0	SS400	608	－	99300	－	50.7	－	6.2	－	0.13 ≦ 1.00

注記：　腐食代 2 mm（内側：1 mm，外側：1 mm）を控除した断面により算定した断面性能により評価。

(2)　鉄塔主要部材に対する断面評価結果

鉄塔主要部材に対する断面評価のうち，主柱材，斜材，水平材，補助柱材，補助斜材及び補助水平材に対する評価結果を表 5-3～表 5-8 に示す。

表 5-3　主柱の断面評価

EL. Z (m)	使用部材 Φ× t (mm)	材質 (—)	設計用断面力		断面性能			座屈長 L_k (mm)	細長比 λ	材料強度		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN･m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_t (mm^3)	回転半径 i (mm)			圧縮 f_c (N/mm^2)	曲げ f_b (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ $\sigma_b=M/Z_t$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}$
112.205	Φ406.4×6.4	STK400	120	18	6769	668000	141.2	8240.1	58.4	231.4	258.5	17.8	27.0	0.19 ≦ 1.00
95.432	Φ406.4×12.7	STK400	309	69	14430	1370000	138.8	10477.2	75.5	213.3	258.5	21.5	50.4	0.30 ≦ 1.00
75.444	Φ558.8×12.7	STK400	1703	89	20040	2680000	192.8	9597.2	49.8	238.8	258.5	85.0	33.3	0.49 ≦ 1.00
52.618	Φ812.8×12.7	STK400	3147	189	29370	5770000	282.3	6838.1	24.2	253.8	258.5	107.2	32.8	0.55 ≦ 1.00
26.257	Φ1016.0×12.7	STK400	5849	298	36840	9130000	354.5	9025.3	25.5	253.3	258.5	158.8	32.7	0.76 ≦ 1.00

注記：　腐食代（外側：1 mm）を控除した断面により算定した断面性能により評価。

表 5-4　斜材の断面評価

EL. Z (m)	使用部材 Φ× t (mm)	材質 (—)	設計用断面力		断面性能			座屈長 L_k (mm)	細長比 λ	材料強度		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN･m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_t (mm^3)	回転半径 i (mm)			圧縮 f_c (N/mm^2)	曲げ f_b (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ $\sigma_b=M/Z_t$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}$
112.205	Φ355.6×6.4	STK400	44	—	5907	—	123.1	10023.4	81.4	205.9	—	7.5	—	0.04 ≦ 1.00
95.432	Φ457.2×6.4	STK400	794	—	7631	—	159.0	12570.6	79.1	208.8	—	104.1	—	0.50 ≦ 1.00
75.444	Φ508.0×6.4	STK400	590	—	8492	—	177.0	14191.3	80.2	207.5	—	69.5	—	0.34 ≦ 1.00
52.618	Φ508.0×6.4	STK400	796	—	8492	—	177.0	8459.3	47.8	240.3	—	93.8	—	0.40 ≦ 1.00
26.257	Φ508.0×6.4	STK400	1087	—	8492	—	177.0	11344.3	64.1	225.9	—	128.1	—	0.57 ≦ 1.00

注記：　腐食代（外側：1 mm）を控除した断面により算定した断面性能により評価。

表 5-5　水平材の断面評価

EL. Z (m)	使用部材 Φ× t (mm)	材質 (—)	設計用断面力		断面性能			座屈長	細長比	材料強度		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN･m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_t (mm^3)	回転半径 i (mm)	L_k (mm)	λ	圧縮 f_c (N/mm^2)	曲げ f_b (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ $\sigma_b=M/Z_t$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}$
112.205	Φ355.6×6.4	STK400	73	3	5907	506000	123.1	5193.6	42.2	244.3	258.5	12.4	6.0	0.08 ≦ 1.00
95.432	Φ457.2×6.4	STK400	112	10	7631	848000	159.0	6295.0	39.6	246.0	258.5	14.7	11.8	0.11 ≦ 1.00
75.444	Φ508.0×6.4	STK400	182	4	8492	1050000	177.0	7607.2	43.0	243.8	258.5	21.5	3.9	0.11 ≦ 1.00
52.618	Φ508.0×6.4	STK400	244	5	8492	1050000	177.0	9105.9	51.4	237.5	258.5	28.8	4.8	0.14 ≦ 1.00
26.257	Φ508.0×6.4	STK400	399	4	8492	1050000	177.0	11644.2	65.8	224.1	258.5	47.0	3.9	0.23 ≦ 1.00

注記：　腐食代（外側：1 mm）を控除した断面により算定した断面性能により評価。

表 5-6　補助主柱材の断面評価

EL. Z (m)	使用部材 Φ× t (mm)	材質 (—)	設計用断面力		断面性能			座屈長	細長比	材料強度		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN･m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_t (mm^3)	回転半径 i (mm)	L_k (mm)	λ	圧縮 f_c (N/mm^2)	曲げ f_b (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ $\sigma_b=M/Z_t$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}$
125.543	Φ406.4×19.0	STK400	85	8	21850	2020000	136.8	6573.9	48.1	240.1	258.5	3.9	4.0	0.04 ≦ 1.00
112.205	Φ508.0×19.0	590 材	217	71	27600	3250000	172.7	8240.1	47.7	367.0	413.0	7.9	21.9	0.08 ≦ 1.00
95.432	Φ508.0×19.0	590 材	591	161	27600	3250000	172.7	10477.2	60.7	338.5	413.0	21.5	49.6	0.19 ≦ 1.00
75.444	Φ609.6×19.0	590 材	2331	80	33340	4770000	208.5	11493.1	55.1	351.6	413.0	70.0	16.8	0.24 ≦ 1.00
52.618	Φ812.8×19.0	590 材	4491	281	44830	8680000	280.2	13676.2	48.8	364.8	413.0	100.2	32.4	0.36 ≦ 1.00
26.257	Φ1016.0×19.0	590 材	6401	401	56320	13800000	352.3	12988.6	36.9	385.4	413.0	113.7	29.1	0.37 ≦ 1.00

注記：　腐食代（外側：1 mm）を控除した断面により算定した断面性能により評価。

表 5-7　補助斜材の断面評価

EL. Z (m)	使用部材 Φ× t (mm)	材質 (—)	設計用断面力		断面性能			座屈長	細長比	材料強度		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN･m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_t (mm^3)	回転半径 i (mm)	L_k (mm)	λ	圧縮 f_c (N/mm^2)	曲げ f_b (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ $\sigma_b=M/Z_t$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}$
125.543	Φ355.6×12.7	STK400	48	—	12570	—	121.0	8652.7	71.5	217.9	—	3.9	—	0.02 ≦ 1.00
112.205	Φ355.6×12.7	STK400	166	—	12570	—	121.0	10250.4	84.7	201.6	—	13.3	—	0.07 ≦ 1.00
95.432	Φ457.2×12.7	STK400	1052	—	16300	—	156.8	12790.3	81.6	205.7	—	64.6	—	0.32 ≦ 1.00
75.444	Φ508.0×12.0	STK490	1050	—	17110	—	175.0	14423.4	82.4	254.5	—	61.4	—	0.25 ≦ 1.00
52.618	Φ508.0×12.0	STK490	1303	—	17110	—	175.0	17150.9	98.0	210.5	—	76.2	—	0.37 ≦ 1.00
26.257	Φ558.8×19.0	590 材	2370	—	30470	—	190.9	20875.2	109.4	169.2	—	77.8	—	0.46 ≦ 1.00

注記：　腐食代（外側：1 mm）を控除した断面により算定した断面性能により評価。

表 5-8　補助水平材の断面評価

EL. Z (m)	使用部材 Φ× t (mm)	材質 (—)	設計用断面力		断面性能			座屈長	細長比	材料強度		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN･m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_t (mm^3)	回転半径 i (mm)	L_k (mm)	λ	圧縮 f_c (N/mm^2)	曲げ f_b (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ $\sigma_b=M/Z_t$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}$
125.543	Φ355.6×6.4	STK400	30	1	5907	506000	123.1	5193.6	42.2	244.3	258.5	5.1	2.0	0.03 ≦ 1.00
112.205	Φ355.6×6.4	STK400	100	1	5907	506000	123.1	5581.8	45.3	242.2	258.5	17.0	2.0	0.08 ≦ 1.00
95.432	Φ457.2×6.4	STK400	698	7	7631	848000	159.0	6683.2	42.0	244.5	258.5	91.5	8.3	0.41 ≦ 1.00
75.444	Φ508.0×6.4	STK400	146	3	8492	1050000	177.0	7995.4	45.2	242.3	258.5	17.2	2.9	0.09 ≦ 1.00
52.618	Φ508.0×6.4	STK400	371	3	8492	1050000	177.0	9494.1	53.6	235.7	258.5	43.7	2.9	0.20 ≦ 1.00
26.257	Φ508.0×6.4	STK400	398	12	8492	1050000	177.0	10393.1	58.7	231.1	258.5	46.9	11.5	0.25 ≦ 1.00

注記：　腐食代（外側：1 mm）を控除した断面により算定した断面性能により評価。

5.2　筒身脚部及び鉄塔脚部（評価方法を含む）

(1)　筒身脚部の評価

a.　設計荷重

設計荷重は，以下に示す荷重により，筒身脚部の検討を行う。なお，筒身脚部は補強を実施するため，自重は既設部で負担するものとし，補強部のみで設計荷重に対して検討を行う。

筒身脚部の形状図を，図 5-1 及び図 5-2 に示す。

圧縮力	N_c＝0 kN
	荷重ケース：竜巻荷重　斜め方向載荷時
引抜き力	N_t＝0 kN
	荷重ケース：竜巻荷重　斜め方向載荷時
曲げモーメント	M＝13920 kN･m
	荷重ケース：竜巻荷重　斜め方向載荷時
水平力	H＝822 kN
	荷重ケース：竜巻荷重　斜め方向載荷時

筒身脚部に作用する反力に対して，添付書類「Ⅴ-2-2-15-1　主排気筒の耐震性についての計算書」のS_s設計用荷重による反力との比較を表 5-9 に示す。

表 5-9 に示すように，水平力はS_s設計用荷重による反力の方が大きく，S_s設計用荷重に包絡されることを確認できるため，以後の検討は省略する。また鉛直荷重と曲げモーメントによる鉛直方向荷重の合計を比較し，S_s設計用荷重の方が大きい場合は，水平力同様検討を省略する。

表 5-9　筒身脚部反力比較表

	竜巻 荷重時	S_s設計用 荷重時
圧縮力（kN）	0	17000
引抜き力（kN）	0	17000
曲げモーメント（kN・m）	13920	5812
水平力（kN）	822	1089

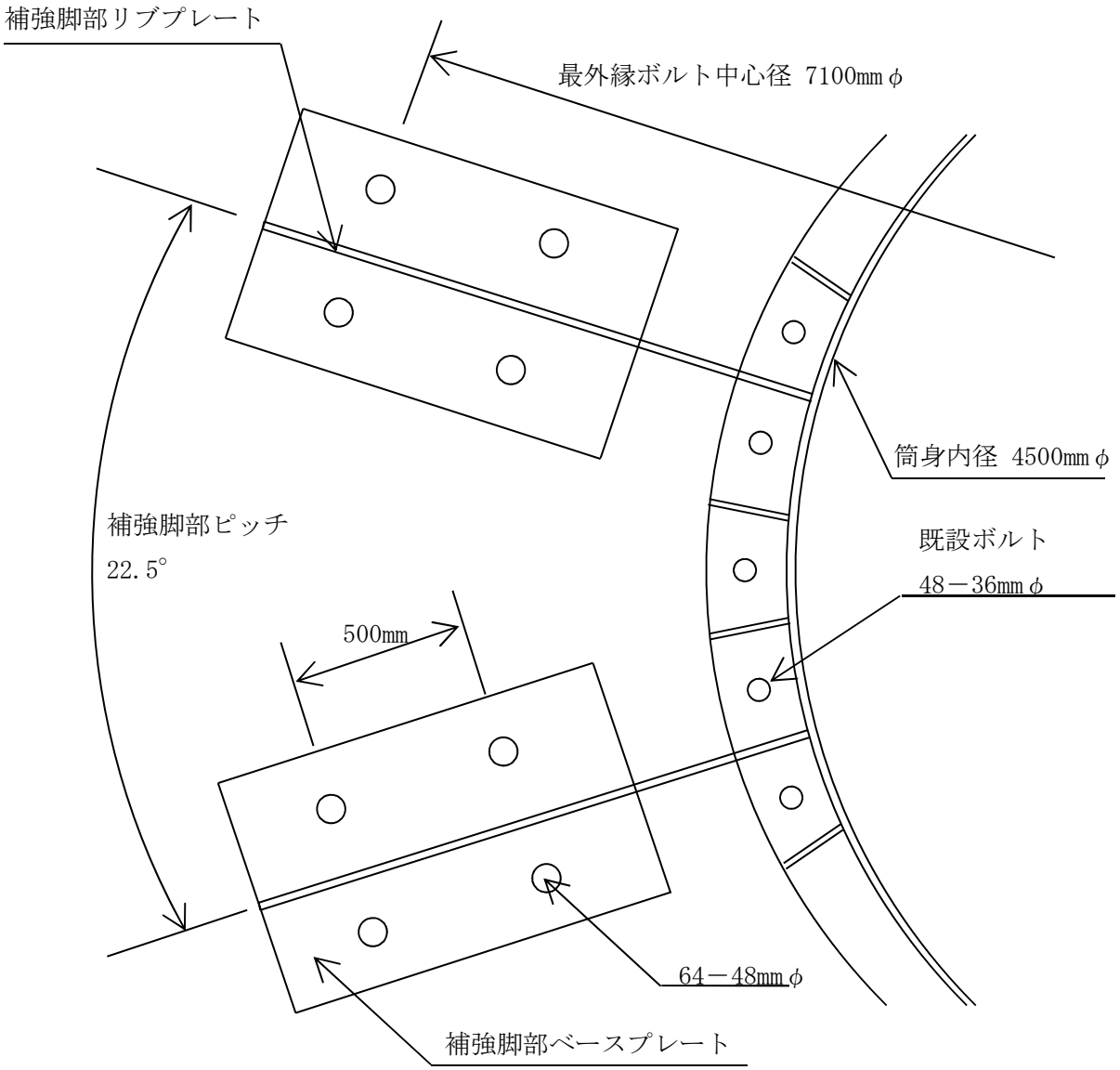

補強脚部リブプレート
最外縁ボルト中心径 7100mmφ
筒身内径 4500mmφ
既設ボルト
48－36mmφ
補強脚部ピッチ
22.5°
500mm
64－48mmφ
補強脚部ベースプレート

図 5-1　筒身脚部形状図

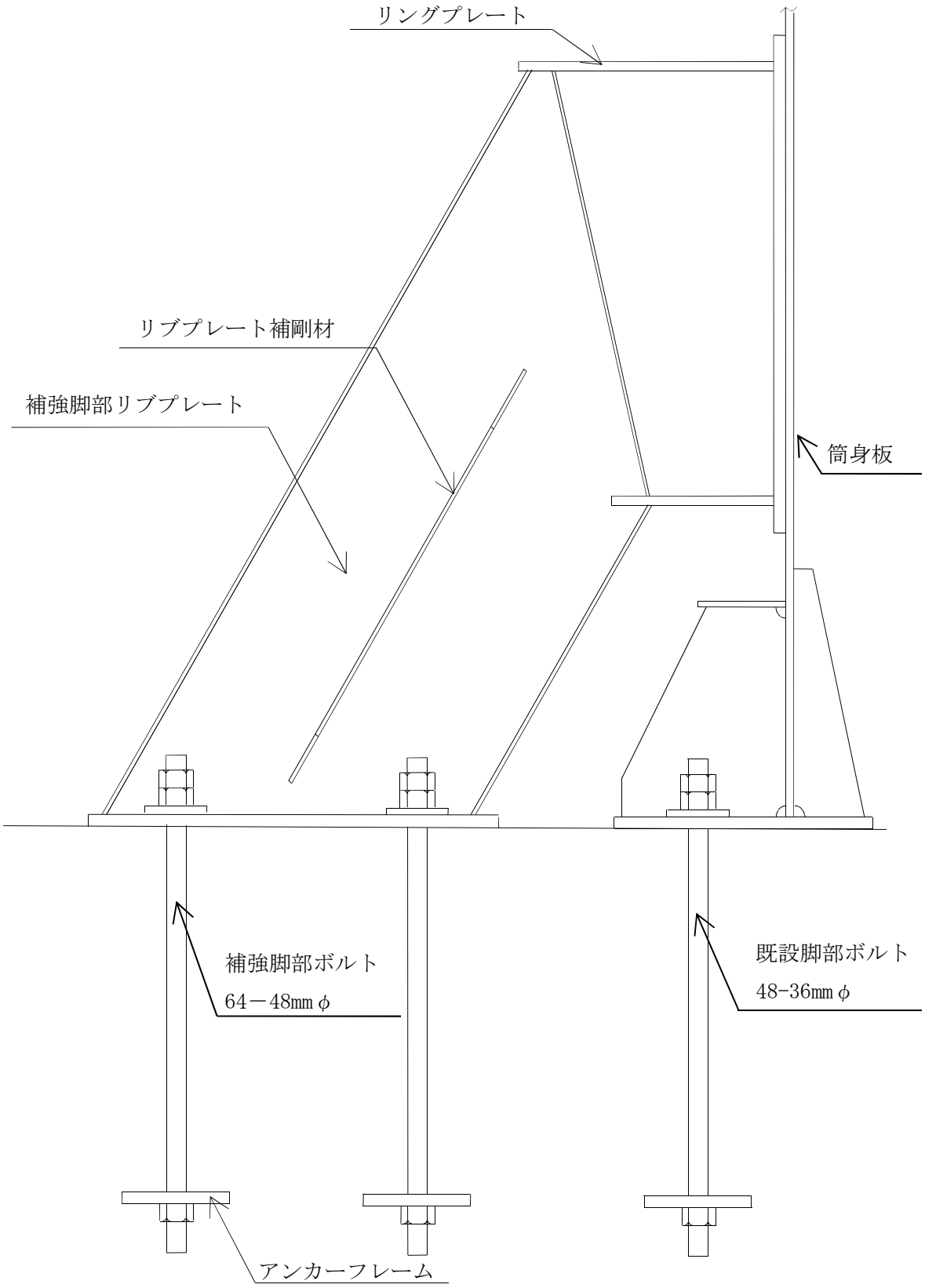

リングプレート
リブプレート補剛材
補強脚部リブプレート
筒身板
補強脚部ボルト
64－48㎜φ
既設脚部ボルト
48-36㎜φ
アンカーフレーム

図 5-2　筒身脚部形状図

b.　引抜き力の比較

竜巻時にアンカーボルトが受ける引抜力とＳ$_s$設計用地震時にアンカーボルトが受ける引抜力を比較することで，引張力と圧縮力がＳ$_s$設計用地震荷重に包絡されていることを確認する。

・ボルト１本に作用する引抜力

曲げモーメントによる引抜力は，外側ボルト群からなる有効断面より算出する。

有効断面係数　　$Z = 8.366 \times 10^7$ mm^3

曲げモーメントによる引抜力　$T = (M \cdot A_1) / Z = \dfrac{13920 \times 1473}{8.366 \times 10^7} \times 10^3$

$= 245.1$ kN

ボルト引抜力　　$T = 245.1$ kN＜367.9 kN（Ｓ$_s$設計用地震荷重時）

竜巻時にアンカーボルトが受ける鉛直力はＳ$_s$設計用地震荷重より小さくなるため，水平力同様引張力及び圧縮力ともにＳ$_s$設計用地震荷重に包絡されることを確認できるため，以後の検討を省略する。

(2)　鉄塔脚部の評価

a.　設計荷重

解析より求めた支点反力を座標変換して，鉄塔脚部垂直反力の向きと主柱脚部の軸方向とを一致させ，座標変換後の垂直反力と水平反力の最大値により脚部の検討を行う。

下記の手順に従い算出した反力の，最大圧縮力，最大引張力，最大水平力を以下に示す。

最大圧縮力	${}_C N_T$	＝ 7703 kN	竜巻荷重　斜め方向
最大引張力	${}_T N_T$	＝ 3532 kN	竜巻荷重　斜め方向
最大水平力	H_T	＝ 911 kN	竜巻荷重　斜め方向

ただし，最大水平力は$H_T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$とする。

鉄塔脚部に作用する反力に対して，添付書類「Ⅴ-2-2-15-1　主排気筒の耐震性についての計算書」のＳ$_s$設計用荷重による反力との比較を表 5-10 に示す。

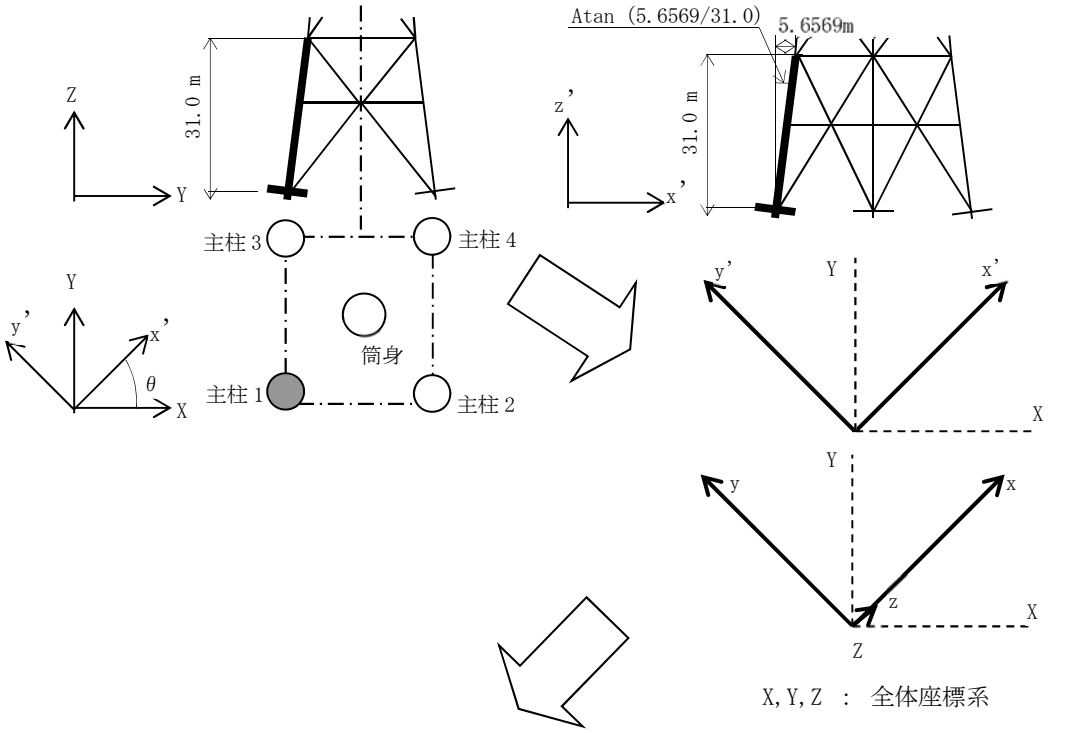
表 5-10 に示すように，引張力はＳ$_s$設計用荷重による反力の方が大きく，Ｓ$_s$設計用荷重に包絡されることを確認できるため，以降の検討は省略する。よって，水平力と圧縮力を支持するベースプレート，リブプレート，刃形プレートについての結果を記載する。

表 5-10　鉄塔脚部反力比較

	竜巻 荷重時	Ｓ$_s$設計用 荷重時
圧縮力（kN）	7703	7530
引張力（kN）	3532	4807
水平力（kN）	911	837

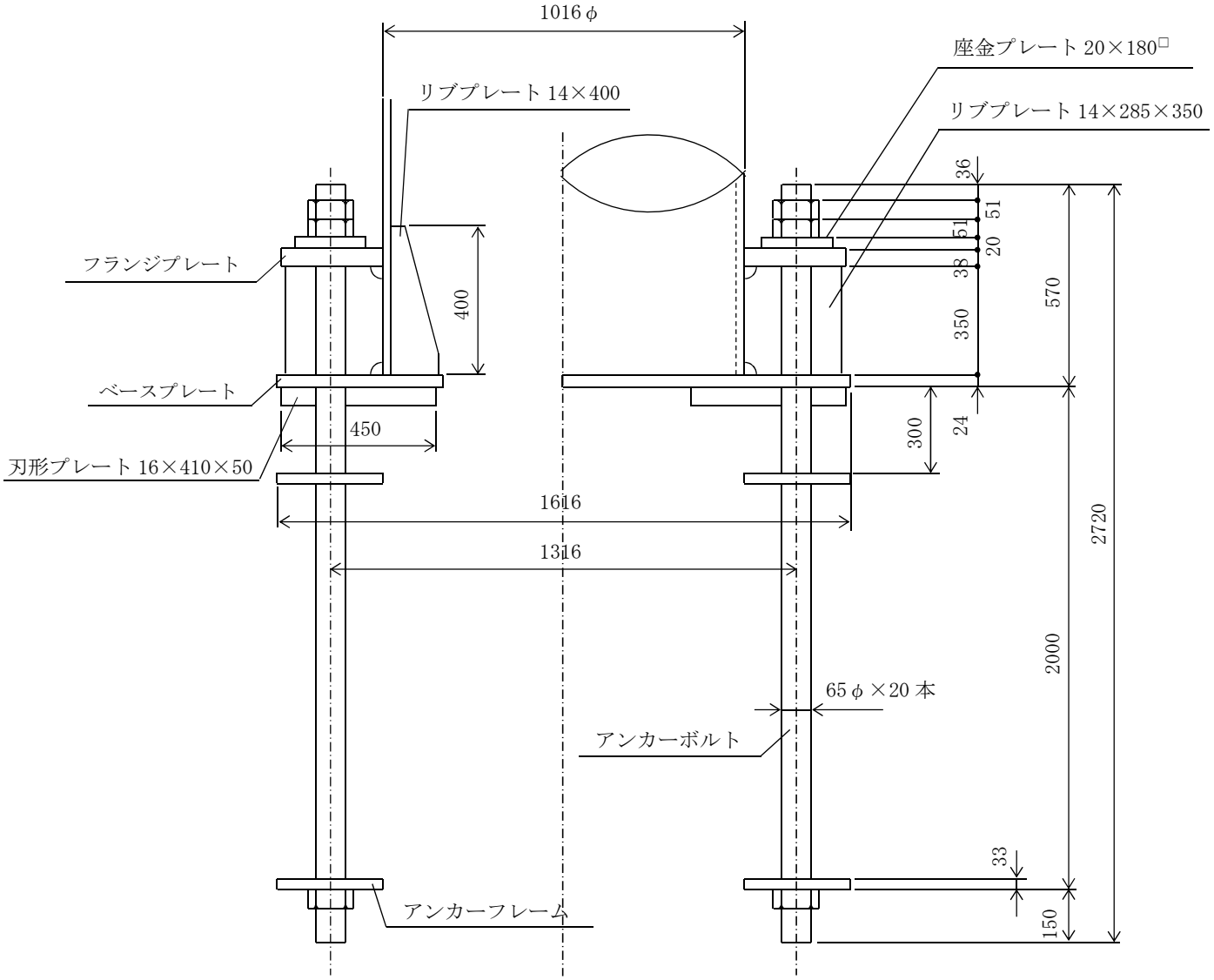
例）主柱１の座標変換

下図のように主柱脚部の軸方向と全体座標系のＺ方向は一致していないため，主柱１の解析より求めた反力をＺ軸周りにθ=45°，新しいＹ軸（y’）周りにφ=10.3416°回転する。



$$\begin{bmatrix} \cos\phi\cos\theta & \cos\phi\sin\theta & -\sin\phi \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ \sin\phi\cos\theta & \sin\phi\sin\theta & \cos\phi \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} RX \\ RY \\ RZ \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Rx \\ Ry \\ Rz \end{Bmatrix}$$

図 5-3 に，鉄塔脚部の形状図を示す。



注：特記なき寸法は mm を示す。

図 5-3　鉄塔脚部形状図

b.　ベースプレート

ベースプレートの曲げ及びコンクリートへの圧縮応力度について検討する。

・ベースプレート諸元

サイズ	外径	D_1＝1616 mm
	内径	d_1＝716 mm
	板厚	t ＝24 mm
ボルト孔		20－φ75
ボルト孔径		b＝75 mm
ボルト孔欠損断面積		A_B＝$b^2/4\cdot\pi\cdot20$＝88360 mm^2
材質		SS400
設計基準強度		F＝258.5 N/mm^2
許容引張応力度		f_t＝F＝258.5 N/mm^2
許容曲げ応力度		f_b＝F＝258.5 N/mm^2

(a)　下面のコンクリートに対する検討

・圧着面の断面性能（ボルト孔控除）

断面積

$$A_2=\pi/4\cdot(D_1^2-d_1^2)-A_B$$
$$=\pi/4\times(1616^2-716^2)-88360$$
$$=1.560\times10^6\ mm^2$$

主柱圧縮力　$_CN_T$＝ 7703 kN

圧着面に作用する圧縮応力度

$$\sigma_c={}_CN_T/A_2$$
$$=\frac{7703}{1.560\times10^6}\times10^3=5.0\ N/mm^2$$

・コンクリート諸元

設計基準強度　F_c＝22 N/mm^2

許容圧縮応力度　$_cf_c=2/3\cdot F_c$＝14.6 N/mm^2

応力度比

$$\sigma_c/{}_cf_c=\frac{5.0}{14.6}=0.35\leqq1.00$$

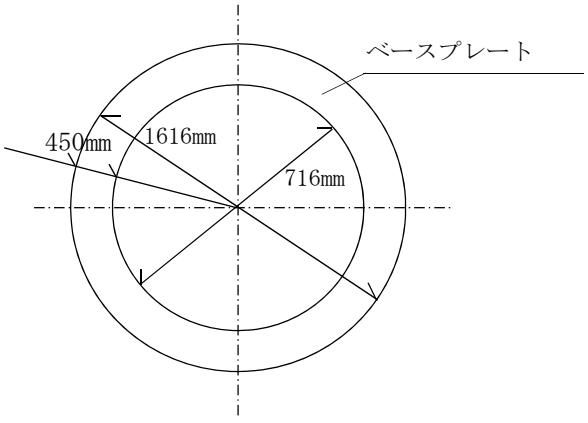


図 5-4　ベースプレートの寸法

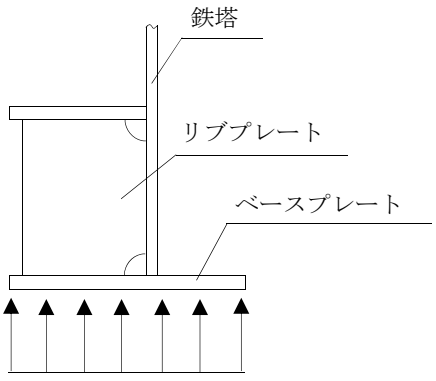


図 5-5　ベースプレートの断面

(b)　ベースプレートの曲げに対する検討

ベースプレートを連続梁（リブを支点とする）とみなす。

断面係数　　$Z_1=\dfrac{(t-t_c\cdot 1)^2}{6}=\dfrac{(24-1\times 1)^2}{6}=88.17$ mm^3/mm

（ベースプレート上面のみの腐食代考慮，片面腐食代　$t_c=1$ mm）

・作用力

ボルト芯径　　$D_2=1316$ mm

ボルト本数　　$n=20$ 本

支間距離　　$L=D_2\cdot\pi/n=1316\times\pi/20=206.7$ mm

（ボルト周方向ピッチ）

コンクリートの圧縮応力度

$\sigma_c=5.0$ N/mm^2

モーメント　$M_1=0.6\cdot\sigma_c\cdot L^2/8=\dfrac{0.6\times 5.0\times 206.7^2}{8}=16022$ N･mm/mm

曲げ応力度　$\sigma_b=M_1/Z_1=\dfrac{16022}{88.17}=181.8$ N/mm^2

応力度比　　$\sigma_b/f_b=\dfrac{181.8}{258.5}=0.71\leqq 1.00$

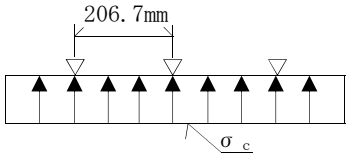


図 5-6　ベースプレート検討図

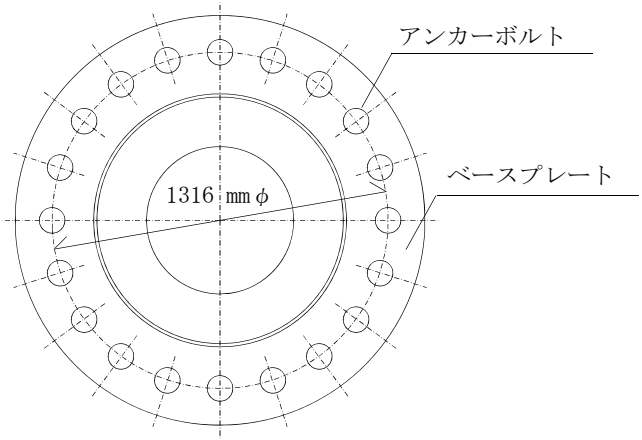


図 5-7　ボルト配置図

c. リブプレート

・リブプレート諸元

サイズ　高さ　H＝350 mm

幅　B＝300－15－30＝255 mm

板厚　t＝14 mm

リブ枚数　n＝ 20 枚

材質　SS400

設計基準強度　F＝258.5 N/mm^2

限界細長比　Λ＝114.2

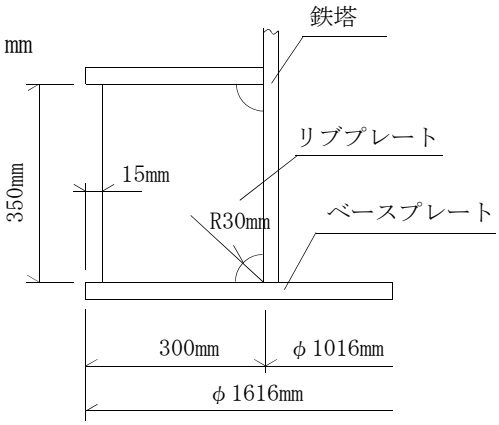


図 5-8　リブプレートの形状

(a)　リブの圧縮に対する検討

断面積　$A_2=(t-t_c\cdot 2)\cdot B=(14-1\times 2)\times 255=3060$ mm^2

（リブ両面の腐食代考慮，片面腐食代 $t_c=1$mm）

断面 2 次半径　$i=(t-t_c\cdot 2)/\sqrt{12}=\dfrac{(14-1\times 2)}{\sqrt{12}}=3.5$ mm

（腐食代考慮）

座屈長　$\ell_k=H/2=\dfrac{350}{2}=175$ mm　（両端固定）

細長比　$\lambda=\ell_k/i=\dfrac{175}{3.5}=50.0 < \Lambda=114.2$

許容圧縮応力度

$$f_c=F\cdot\left\{1-\frac{2}{5}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}=238.6\ \mathrm{N/mm^2}$$

・作用力

1 枚のリブに作用する圧縮力

最大圧縮力作用時　$P_c={}_CN_T/n=\dfrac{7703}{20}=385.2$ kN

最大引張力作用時　$P_t={}_TN_T/n=\dfrac{3532}{20}=176.6$ kN

$P_c>P_t$より以下P_cに対してのみ照査を行う。

リブに作用する圧縮応力度　$\sigma_c=P_c/A_2=\dfrac{385.2}{3060}\times 10^3=125.9$ N/mm^2

応力度比　$\sigma_c/f_c=\dfrac{125.9}{238.6}=0.53 \leqq 1.00$

(b)　リブの溶接部に対する検討

・溶接部諸元

鉛直方向

溶接長　　ℓ_1 ＝（H－30・2）・2＝（350－30×2）×2＝580 mm

溶接脚長　　S_1＝10 mm

有効のど厚　　a_1 ＝0.7・S_1－t_c・1 ＝0.7×10－1×1＝6.0 mm

（腐食代t_c＝1 mm）

有効面積　　A_{s1}＝ℓ_1・a_1＝580×6.0＝3480 mm^2（腐食代考慮）

水平方向

溶接長　　ℓ_2＝B・2＝255×2＝510 mm

溶接脚長　　S_2＝10 mm

有効のど厚　　a_2＝0.7S_2－t_c・1＝0.7×10－1×1＝6.0 mm

（腐食代t_c＝1mm）

有効面積　　A_{s2}＝ℓ_2・a_2＝510×6.0＝3060 mm^2

設計基準強度　　F＝258.5 N/mm^2

許容せん断応力度

f_s＝F/$\sqrt{3}$ ＝ 149.2 N/mm^2

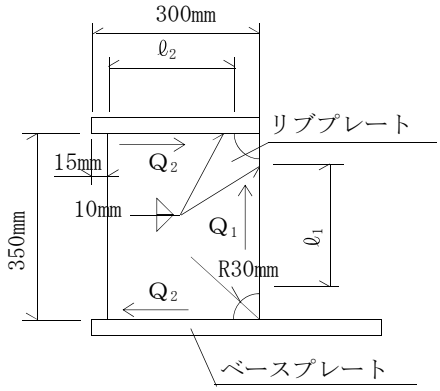


図 5-9　溶接位置図

・作用力

鉛直方向

$Q_1 = P_c = 385.2$ kN

『5.2(2)　c. (a)による』

水平方向（鋼管壁面に作用する偏心モーメント）

$$Q_2 = P_c \cdot 150/H = \frac{385.2 \times 150}{350} = 165.1 \text{ kN}$$

リブに作用するせん断応力度

$$\tau_1 = Q_1/A_{s1} = \frac{385.2}{3480} \times 10^3 = 110.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_2 = Q_2/A_{s2} = \frac{165.1}{3060} \times 10^3 = 54.0 \text{ N/mm}^2$$

応力度比

$$\tau_1/f_s = \frac{110.7}{149.2} = 0.75 \leqq 1.00$$

$$\tau_2/f_s = \frac{54.0}{149.2} = 0.37 \leqq 1.00$$

d.　刃形プレート

刃形プレートの強度検討を行う。

・圧縮側せん断に対する検討

$\mu \cdot {}_{c}N_{t}$＝0.4×7703＝3081.2 kN ＞ 911 kN

μ ： 摩擦係数（0.4）

圧縮側せん断力に対してはベースプレート下面の摩擦抵抗によって十分抵抗しうるため，検討を省略する。

・引張側せん断に対する検討

水平力はアンカーボルトに負担させず全て刃形プレートで負担させる。

刃形プレート諸元

サイズ	高さ	H＝50 mm
	幅	B＝410 mm
	板厚	t＝16 mm
枚数		10 枚（36° ピッチ）
材質		SS400
設計基準強度		F＝258.5 N/mm^2
許容曲げ応力度		f_b＝F＝258.5 N/mm^2
許容せん断応力度		f_s＝F/$\sqrt{3}$ ＝149.2 N/mm^2

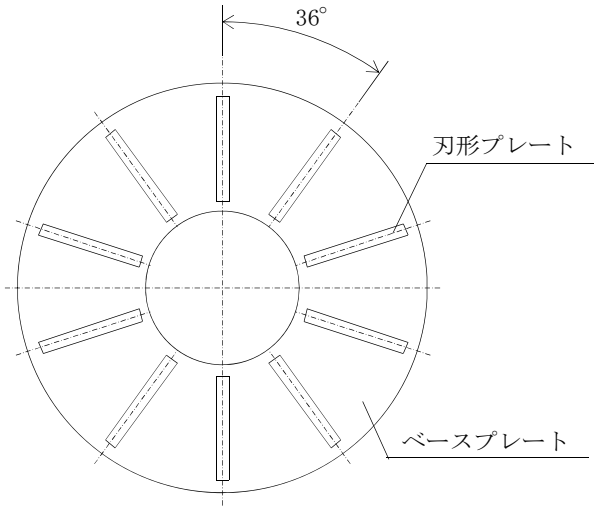


図 5-10　刃形プレート形状図

(a)　刃形プレート母材に対する検討

刃形プレートの強度検討を行う。

断面積　　$A_4 = t = 16\ mm^2/mm$

断面係数　　$Z_4 = t^2/6 = \frac{16^2}{6} = 42.67\ mm^3/mm$

単位面積当りの水平力

$$\sigma_c = \frac{H_T}{H \cdot B \cdot \Sigma \sin\theta_i}$$

$$= \frac{911}{50 \times 410 \times (4\sin 18^\circ + 4\sin 54^\circ + 2\sin 90^\circ)} \times 10^3$$

$$= 6.9\ N/mm^2$$

モーメント　　$M_3 = \sigma_c \cdot H^2/2 = \frac{6.9 \times 50^2}{2} = 8625\ N \cdot mm/mm$

せん断力　　$Q = \sigma_c \cdot H = 6.9 \times 50 = 345.0\ N/mm$

曲げ応力度　　$\sigma_b = M_3/Z_4 = \frac{8625}{42.67} = 202.2\ N/mm^2$

せん断応力度　　$\tau = Q/A_4 = \frac{345.0}{16} = 21.6\ N/mm^2$

応力度比　　$\sigma_b/f_b = \frac{202.2}{258.5} = 0.79 \leqq 1.00$

$$\tau/f_s = \frac{21.6}{149.2} = 0.15 \leqq 1.00$$

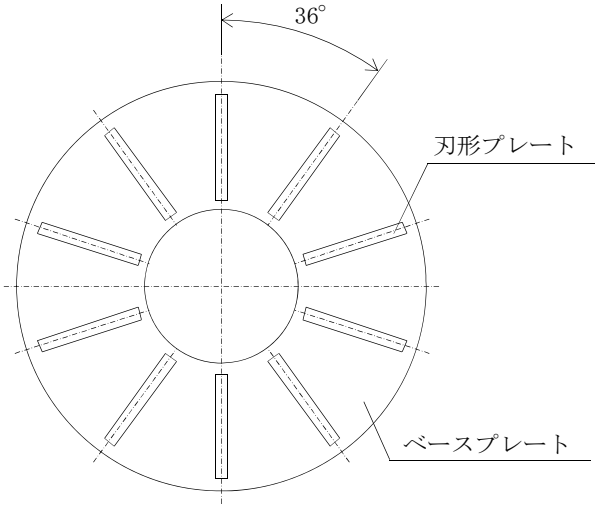


図 5-11　刃形プレート形状図

(b)　刃形プレート溶接部に対する検討

刃形プレートの強度検討を行う。

・溶接部諸元

溶接脚長　　$S=10$ mm

有効のど厚　　$a=0.7\cdot S=0.7\times10=7.0$ mm

$\ell_1=15.0$ mm

$\ell_2=11.5$ mm

有効面積（単位幅当たり）　　$A_s=2\cdot a=2\times7.0=14.00$ mm^2/mm

有効断面係数（単位幅当たり）　　$Z_5=A_S\cdot\ell_2^2/\ell_1=\dfrac{14.0\times11.5^2}{15.0}$

$=123.4$ mm^3/mm

設計基準強度　　$F=258.5$ N/mm^2

許容せん断応力度　　$f_s=F/\sqrt{3}=149.2$ N/mm^2

曲げ応力度　　$\tau_b=M_3/Z_5=\dfrac{8625}{123.4}=69.9$ N/mm^2

せん断応力度　　$\tau_q=Q/A_s=\dfrac{345.0}{14.00}=24.7$ N/mm^2

合成応力度　　$\tau=\sqrt{\tau_b^2+\tau_q^2}=\sqrt{69.9^2+24.7^2}=74.2$ N/mm^2

応力度比　　$\tau/f_s=\dfrac{74.2}{149.2}=0.50\leqq1.00$

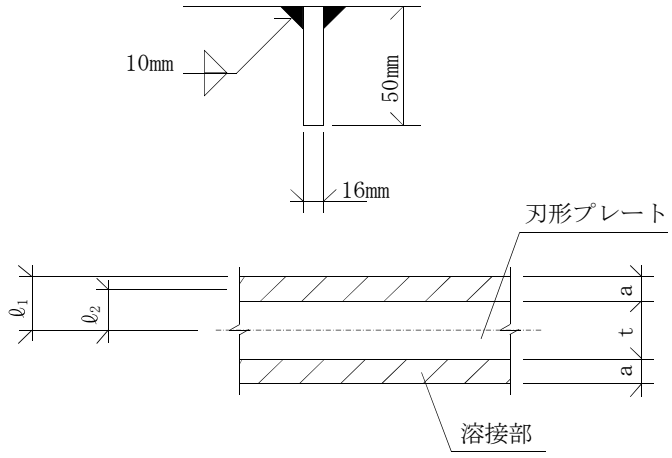


図 5-12　刃形プレート諸元

表 5-11　荷重時算定結果一覧

		発生応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	発生応力度 / 許容応力度
ベースプレート	曲げ応力度	181.8	258.5	0.71　≦1.00
リブプレート	溶接部せん断応力度	110.7	149.2	0.75　≦1.00
刃形プレート	曲げ応力度	202.2	258.5	0.79　≦1.00

(3) 補助鉄塔脚部の評価

a. 設計荷重

設計荷重は，以下に示す荷重により補助鉄塔脚部の検討を行う。

最大圧縮力	${}_{C}N_{T}$ ＝ 8685 kN	設計用地震荷重	斜め方向
最大引張力	${}_{T}N_{T}$ ＝ 5636 kN	設計用地震荷重	斜め方向
最大水平力	H_{T} ＝ 2056 kN	設計用地震荷重	斜め方向

ただし，最大水平力は$H_{T}=\sqrt{R_{x}^{2}+R_{y}^{2}}$とする。

図 5-13 に鉄塔脚部の形状図を示す。

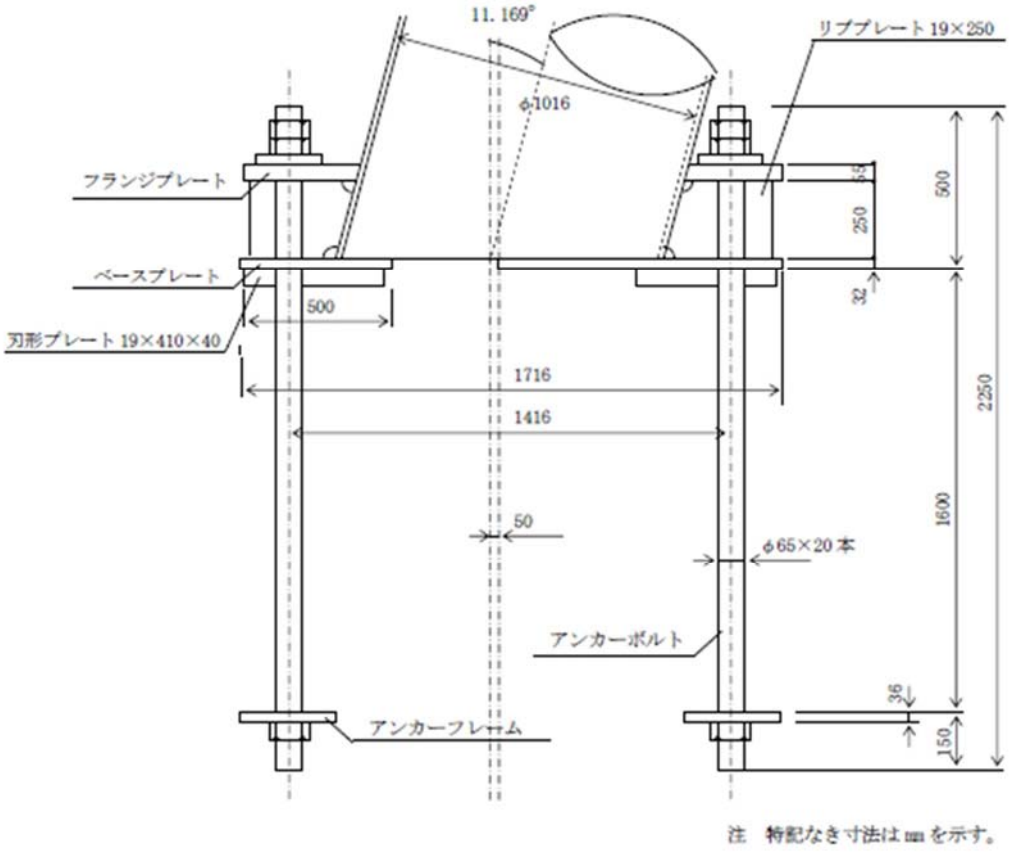


図 5-13 補助鉄塔脚部

補助鉄塔脚部に作用する反力に対して，添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」のS_{s}設計用荷重による反力との比較を表 5-12 に示す。

表 5-12 に示すように，竜巻時の反力はS_{s}設計用荷重による反力の方が大きく，S_{s}設計用荷重に包絡されることを確認できるため，以降の検討は省略する。

表 5-12　補助鉄塔脚部反力比較

	竜巻 荷重時	S_s設計用 荷重時
圧縮力（kN）	8685	9176
引張力（kN）	5636	7525
水平力（kN）	2056	2202

Ⅴ-3-別添 1-1-5　換気空調設備の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 5
2.4 適用規格 10
3. 強度評価方法 11
3.1 記号の定義 11
3.2 評価対象部位 16
3.3 荷重及び荷重の組合せ 21
3.4 許容限界 22
3.5 評価方法 28
4. 評価条件 39
5. 強度評価結果 43

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，角ダクト，丸ダクト，換気空調設備の隔離弁（以下「隔離弁」という。），ファン及び冷凍機が竜巻時及び竜巻通過後においても，その施設の機能維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

角ダクト，丸ダクト，隔離弁，ファン及び冷凍機の構造について，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，角ダクト，丸ダクト，隔離弁，ファン及び冷凍機の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

角ダクト，丸ダクト，隔離弁，ファン及び冷凍機は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり，十分な強度を有する原子炉建屋内，原子炉建屋付属棟屋上面に設置する。

角ダクト，丸ダクト，隔離弁，ファン及び冷凍機の位置図を図 2-1 に示す。

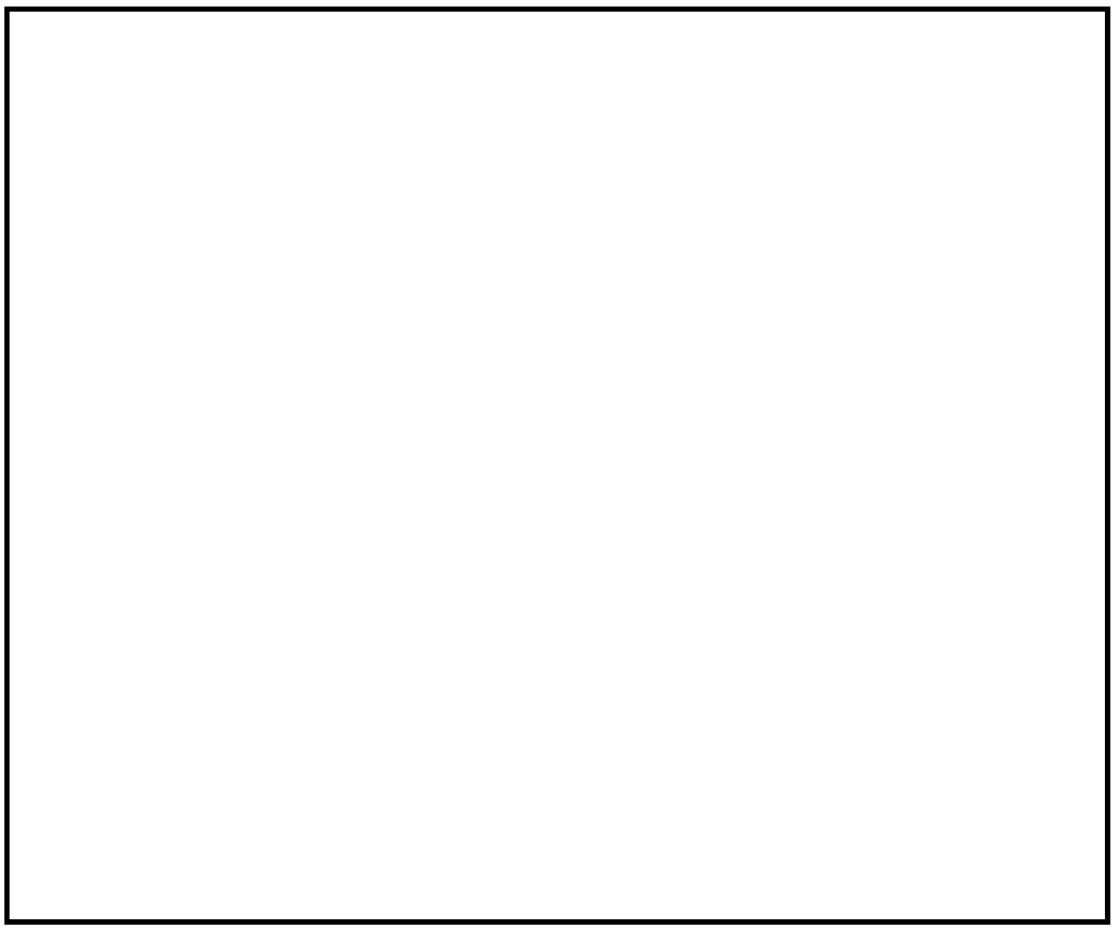


図 2-1　角ダクト，丸ダクト，隔離弁，ファン及び冷凍機の位置図

NT2 補② Ⅴ-3-別添 1-1-5 R8

2.2　構造概要

換気空調設備の構造について，添付書類「V-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

(1)　角ダクト及び丸ダクトの構造概要

角ダクトは，鋼板により構成される四角形断面のダクトであり，支持構造物にダクト鋼板面を接触させて支持する。

丸ダクトは，鋼板により構成される円筒形のダクトであり，支持構造物にダクト鋼板面を接触させて支持する。

角ダクトの概要図を図 2-2 に，丸ダクトの概要図を図 2-3 に示す。

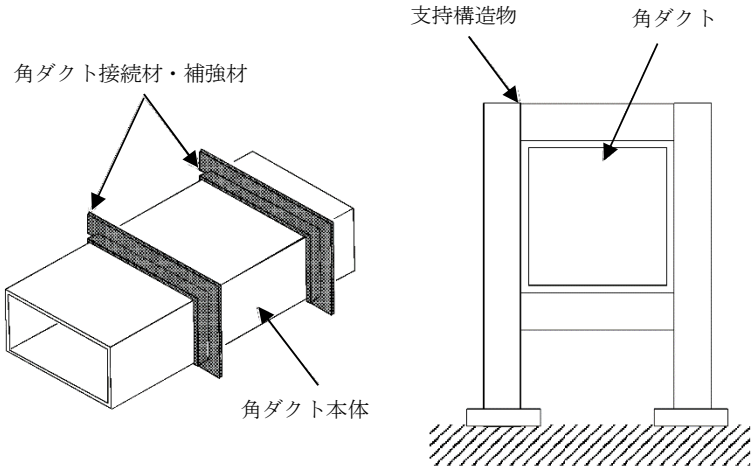


図 2-2　角ダクトの概要図

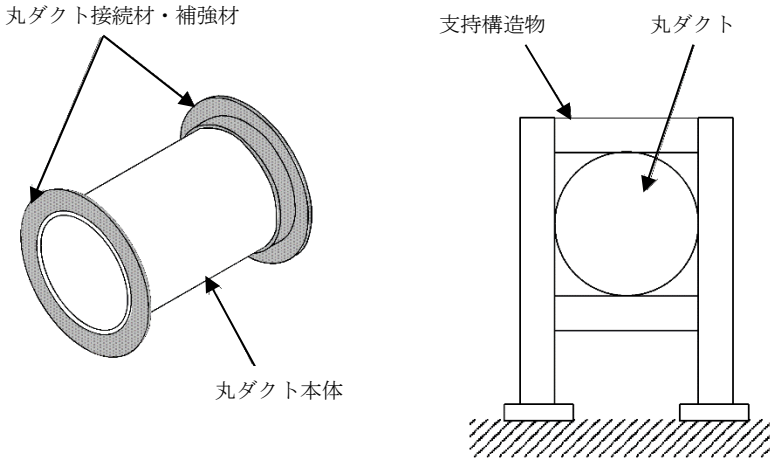


図 2-3　丸ダクトの概要図

(2)　隔離弁の構造概要

隔離弁は弁箱内部の弁体が弁棒を軸として回転することにより,開閉動作を行う弁である。

隔離弁の概要図を図 2-4 に示す。

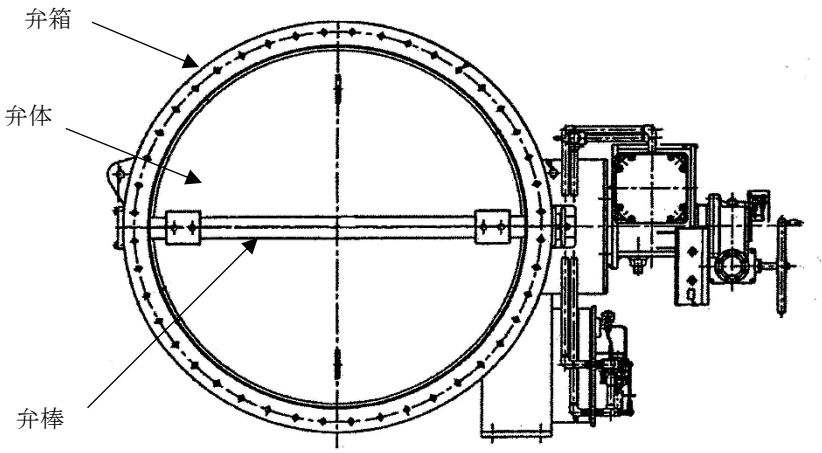


図 2-4　隔離弁の概要図

(3)　ファンの構造概要

ファンは流路を形成するケーシング，冷却するための空気を送り込む羽根車及び原動機からの回転力を伝達する主軸で形成する。

中央制御室換気系フィルタ系ファンは遠心ファンであり，同一設計のファンを屋内に 2 台設置している。非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン（以下「ディーゼル発電機室ルーフベントファン」という。）は据付面からケーシング部とケーシング部より上部の吐出フードからなる軸流ファンであり，同一設計のディーゼル発電機室ルーフベントファンを非常用ディーゼル発電機２Ｃ室用，非常用ディーゼル発電機２Ｄ室用及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室用にそれぞれ 2 台，計 6 台を屋外に設置している。

ファンの概要図を図 2-5 及び図 2-6 に示す。

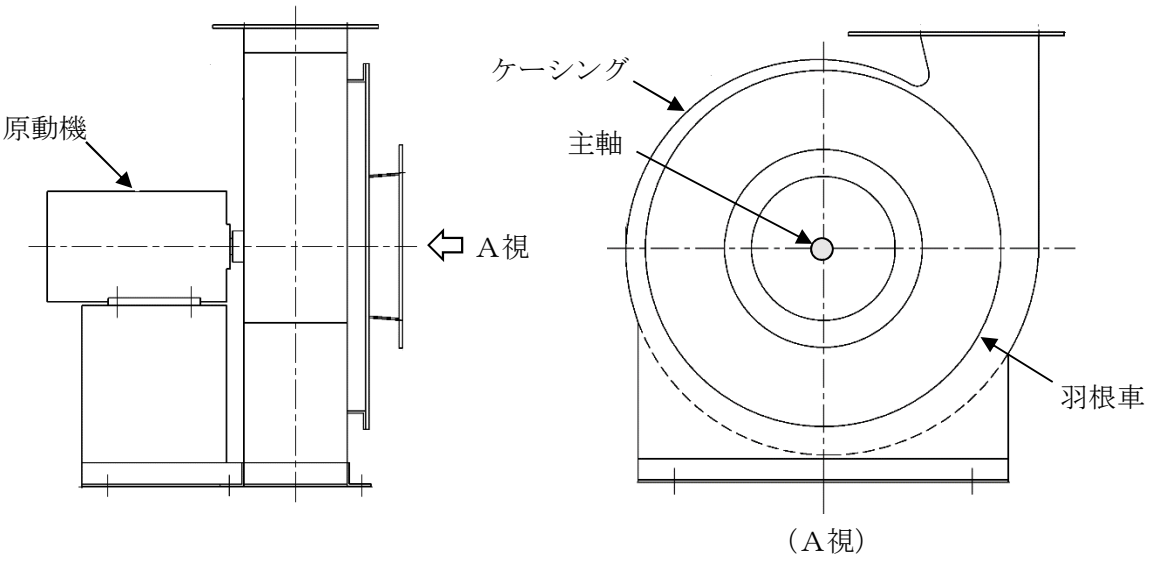


図 2-5　ファンの概要図（中央制御室換気系フィルタ系ファン）

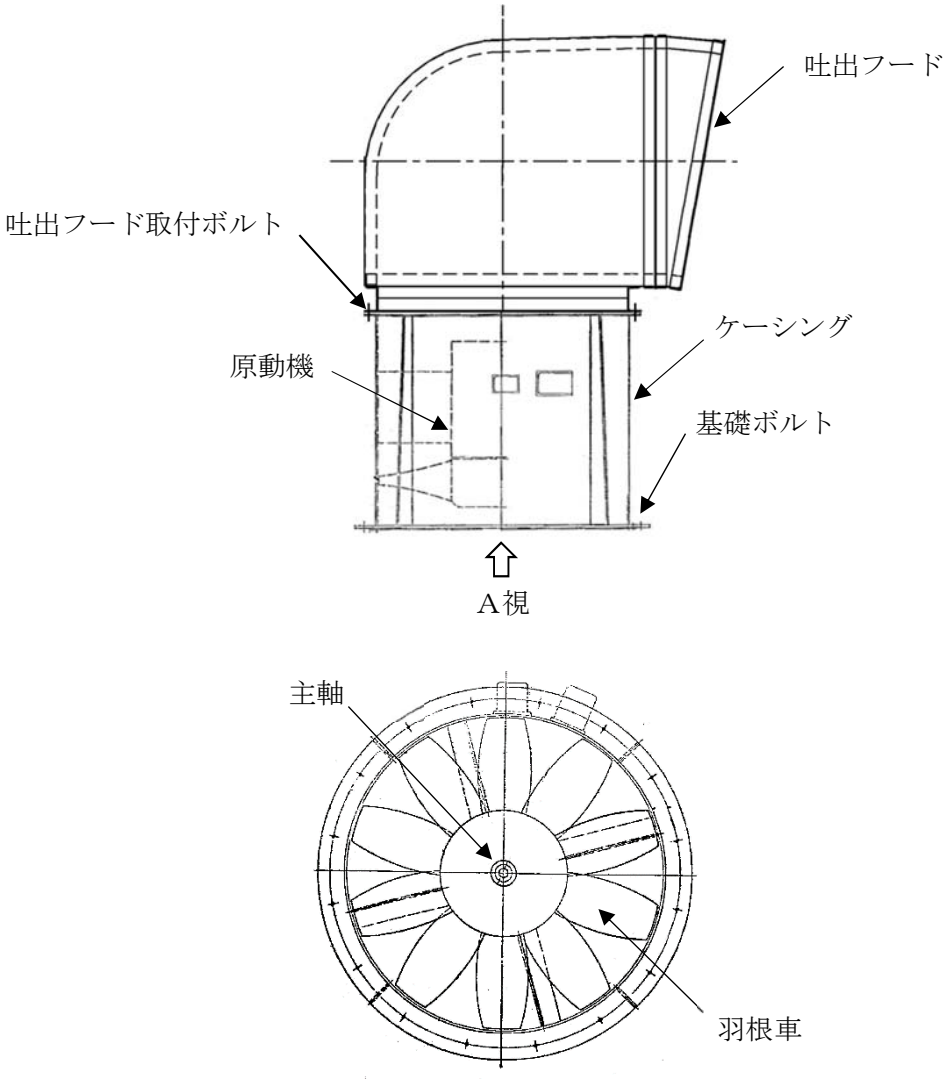
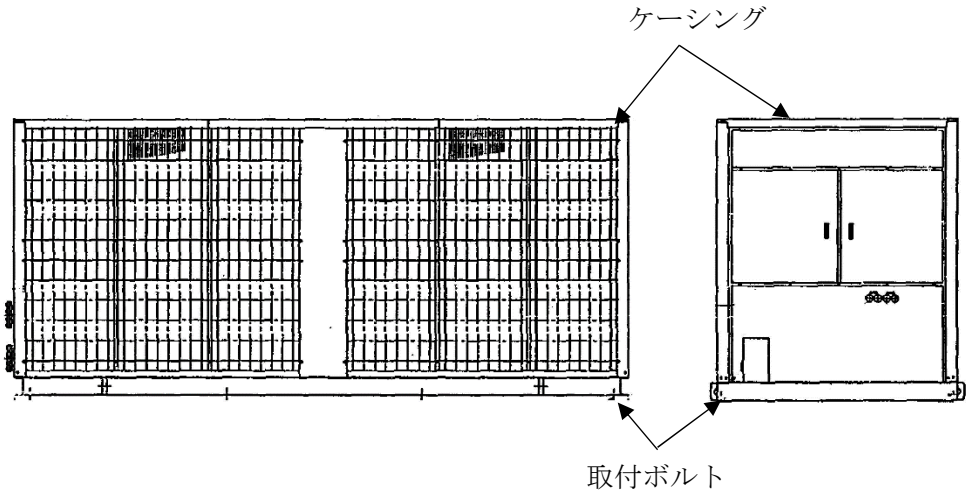


図 2-6　ファンの概要図（ディーゼル発電機室ルーフベントファン）

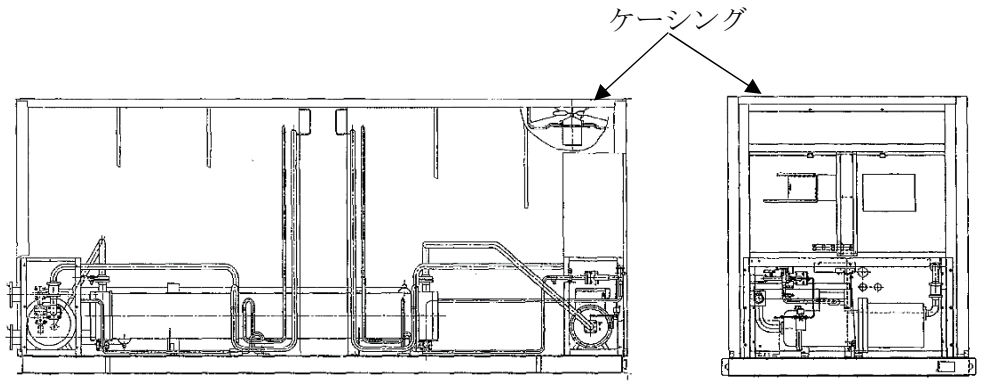
(4)　冷凍機の構造概要

中央制御室換気系冷凍機は，空調用冷水を冷却する熱交換器，圧縮機等を鋼製のケーシングで覆ったユニット形式であり，同一設計の中央制御室換気系冷凍機 2 台を屋外に設置している。

中央制御室換気系冷凍機の概要図を図 2-7 に示す。



（外面図）



（ケーシング内面図）

図 2-7　冷凍機の概要図（中央制御室換気系冷凍機）

2.3　評価方針

換気空調設備の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，角ダクト，丸ダクト，隔離弁，ファン及び冷凍機の各評価対象部位に作用する貫入及び応力等が，許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

(1)　衝突評価の評価方針

屋外に設置する換気空調設備の衝突評価フローを図2-8に示す。衝突評価においては，防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。衝突評価では，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。屋外に設置する換気空調設備の衝突評価における許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，外殻を構成する部材の厚さとする。

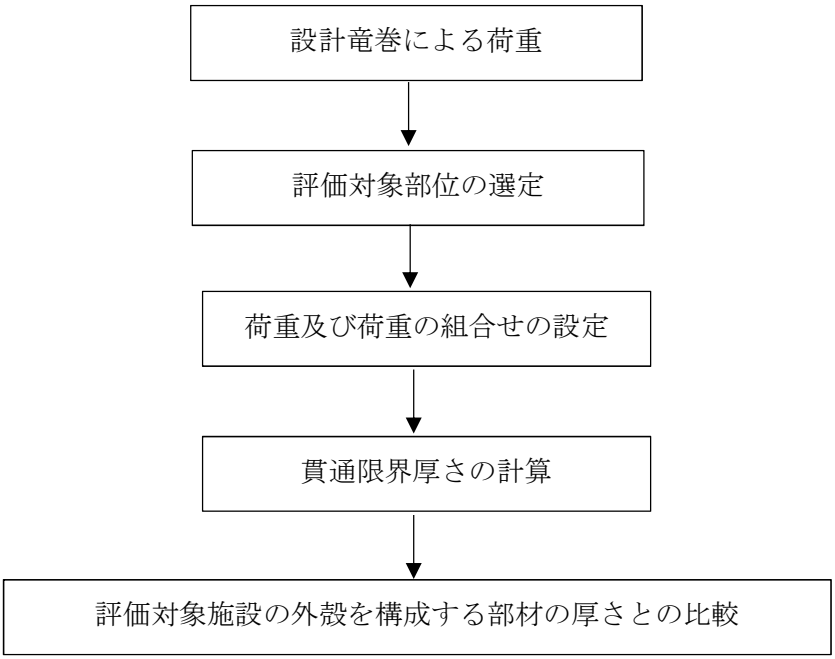


図2-8　屋外に設置する換気空調設備の衝突評価フロー

(2)　構造強度評価の評価方針

a.　角ダクト及び丸ダクトの評価方針

角ダクト及び丸ダクトの構造強度評価フローを図 2-9 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置する，外気と繋がっている換気空調設備のうち，角ダクト及び丸ダクトの構造強度評価においては，その構造を踏まえ，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

角ダクトの構造強度評価においては,設計竜巻の気圧差による荷重を短期荷重とみなし，自重との組合せを考慮して，長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に示す評価式を用いる。

角ダクトの許容限界は，妥当な安全裕度を考慮して，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻へ

の配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓとする。ただし，座屈に対しては評価式を満足することを確認する。

丸ダクトの構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重を短期荷重とみなし，自重との組合せを考慮して，外圧により生じる周方向応力が許容応力以下であること及び長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）により生じる応力が評価式を満足していることを確認する。構造強度評価では，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

丸ダクトの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，クリップリング座屈の算出式に応じた値とする。

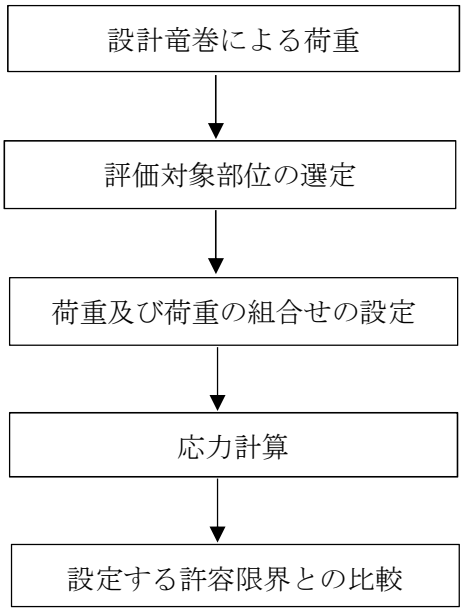


図 2-9　角ダクト及び丸ダクトの構造強度評価フロー

b.　隔離弁の評価方針

隔離弁の構造強度評価フローを図 2-10 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置する，外気と繋がっている換気空調設備のうち，隔離弁の構造強度評価においては，その構造を踏まえ，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

構造強度評価においては，隔離弁に対して，設計竜巻の気圧差による荷重により生じる応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法を用いる。

隔離弁の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，部材の降伏応力とする。

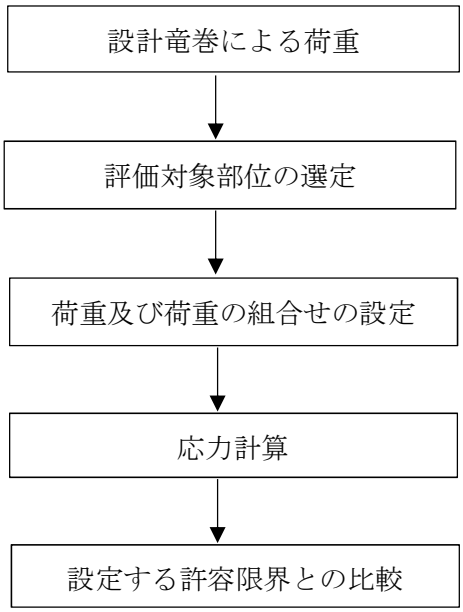


図 2-10　隔離弁の構造強度評価フロー

c.　ファンの評価方針

ファンの構造強度評価フローを図 2-11 に示す。

強度評価において，屋外に設置する換気空調設備については，設計竜巻による荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において，その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の構造強度評価には，設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における 1 質点系モデルによる評価方法を準用する。

また，竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置する外気と繋がっている換気空調設備については，設計竜巻の気圧差による荷重により生じる応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価においては，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

ファンの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓとする。

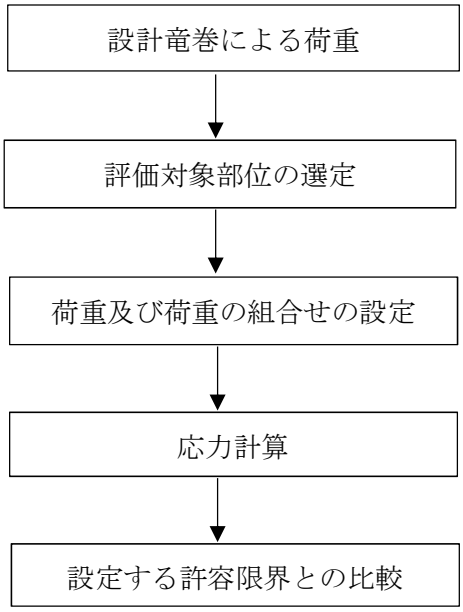


図 2-11　ファンの構造強度評価フロー

d.　冷凍機の評価方針

冷凍機の構造強度評価フローを図 2-12 に示す。

構造強度評価においては，中央制御室換気系冷凍機に対して，設計竜巻による荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において，その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の構造強度評価には，設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

冷凍機の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓとする。

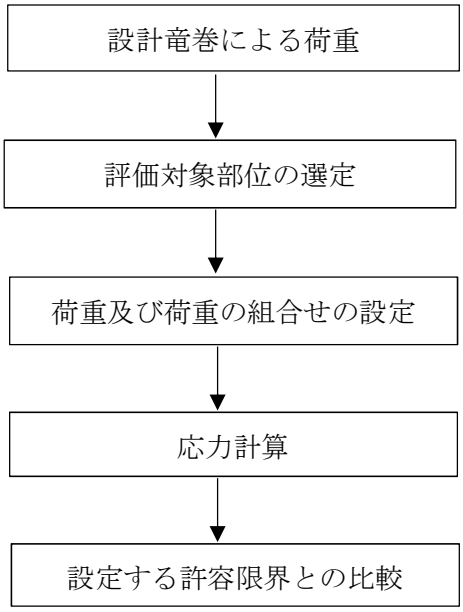


図 2-12　冷凍機の構造強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・「タービンミサイル評価について」（昭和52年7月20日　原子炉安全専門審査会）
・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
・「原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版」（社）日本電気協会
・「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）
・日本工業規格（ＪＩＳ）
・「新版機械工学便覧」（1987年4月日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 衝突評価の記号の定義

屋外に設置する換気空調設備の衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	－	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 構造強度評価の記号の定義

a. 角ダクト

角ダクトの構造強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2 角ダクトの構造強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	補強ピッチ
D_p	kg/m^2	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
E	MPa	ヤング率
g	m/s^2	重力加速度
I	mm^4	断面二次モーメント
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M	N･mm	ダクトに作用する曲げモーメント
M_p	N･mm	自重により作用する曲げモーメント
P	MPa	ダクトにかかる外圧
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	ダクト板厚
δ_{max}	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量

表3-2　角ダクトの構造強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
π	－	円周率
μ	kg/m	ダクトの単位長さ当たり重量
ν	－	ポアソン比
σ_{max}	MPa	中心に生じる面外荷重による最大応力
σ_{p1}	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
σ_{p2}	MPa	面内荷重（自重）による発生応力
σ_{w}	MPa	短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力と長期荷重（自重）による発生応力の和
σ_{y}	MPa	許容応力

b.　丸ダクト

丸ダクトの構造強度評価に用いる記号を表3-3に示す。

表3-3　丸ダクトの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
c	mm	補強ピッチ
E	MPa	ヤング率
g	m/s^2	重力加速度
k_p	－	座屈係数
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M_{crip}	N･mm	クリップリング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント
M_p	N･mm	自重により作用する曲げモーメント
n	－	座屈モードの次数
r	mm	丸ダクトのダクト半径
t	mm	ダクト板厚
Z_c	－	円筒かくの座屈応力の式における係数
β	－	円筒かくの座屈応力の式における係数
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
μ	kg/m	ダクトの単位長さ当たりの質量
ν	－	ポアソン比
π	－	円周率
σ_{crip}	MPa	クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力
σ_{crip1}	MPa	外圧により生じる周方向応力

c. 隔離弁

隔離弁の構造強度評価に用いる記号を表 3-4 に示す。

表3-4　隔離弁の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_s	m^2	弁棒の断面積
A_v	m^2	弁体の受圧面積
a	mm	弁体の半径
d	mm	弁棒の直径
F_1	N	設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重
F_2	N	弁体自重により弁棒に受ける荷重
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	弁体の板厚
m_v	kg	弁体自重
m_s	kg	弁棒自重
P_1	Pa	設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力
P_2	Pa	自重により弁体に受ける応力
p_v	Pa	弁体に受ける応力
p_s	N	弁棒に受ける荷重
r	mm	内半径
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
π	－	円周率
τ	MPa	弁棒に対するせん断応力
σ_{max}	MPa	弁体に対する曲げ応力
σ_θ	MPa	周方向応力
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量

d. ファン

ファンの構造強度評価に用いる記号を表3-5に示す。

表3-5　ファンの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_b	mm^2	ボルトの軸断面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_i	N	各ボルトに作用する引張力
F_n	N	ボルトに作用する最大引張力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	全高
L_1～L_7	mm	支点と評価ボルト間の距離
L_i	mm	各ボルト間の距離
L_n	mm	各ボルト間距離のうち最長距離
M	N･mm	設計竜巻により作用するモーメント
m	kg	ファンの質量
N	－	ボルトの本数
Q_b	N	ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
r	mm	ケーシング内半径
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	ケーシング板厚
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
σ_b	MPa	ボルトに生じる引張応力
σ_θ	MPa	周方向応力
τ	MPa	ボルトに生じるせん断応力

e. 冷凍機

冷凍機の構造強度評価に用いる記号を表3-6に示す。

表3-6 冷凍機の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_b	mm^2	取付ボルトの軸断面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_b	N	取付ボルトに対する引張力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	全高の１／２
L_1	mm	取付ボルト間の水平距離
L_H	mm	重心から取付ボルト間の水平距離
m	kg	冷凍機の運転質量
N	－	取付ボルトの本数
n_f	－	引張力を受ける取付ボルトの本数
Q_b	N	取付ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
σ_b	MPa	取付ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	取付ボルトに生じるせん断応力

3.2　評価対象部位

(1)　衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により，ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び中央制御室換気系冷凍機に衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため，貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

屋外に設置する換気空調設備の全方向からの飛来物を考慮し，貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として最薄部となる箇所を選定する。なお，中央制御室換気系冷凍機については，最外殻となるユニットのケーシングを選定する。

屋外に設置する換気空調設備の衝突評価における評価対象部位を図3-1，図3-2に示す。

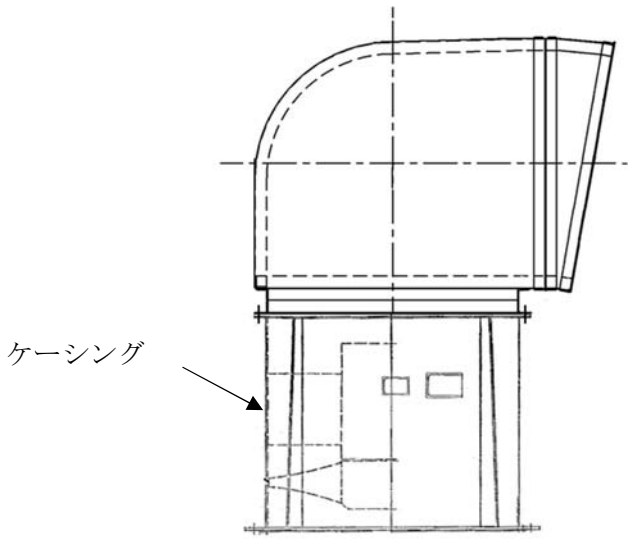


図 3-1　屋外に設置する換気空調設備の衝突評価における評価対象部位
（ディーゼル発電機室ルーフベントファン）

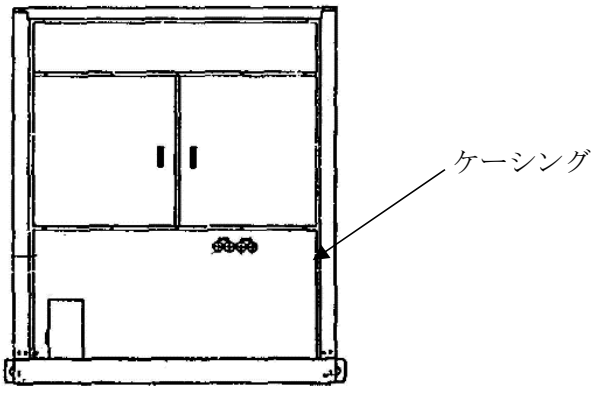


図 3-2　屋外に設置する換気空調設備の衝突評価における評価対象部位
（中央制御室換気系冷凍機）

(2)　構造強度評価の評価対象部位

a.　ダクトの評価対象部位

角ダクト及び丸ダクトの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

(a)　角ダクト

下記の外気と繋がる換気空調系を評価対象とする。

・中央制御室換気系

・非常用ディーゼル発電機室換気系

・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系

気圧差による荷重は，角ダクト本体の薄肉鋼板部に作用する。このことから，ダクト鋼板（本体）を評価対象部位として選定する。

角ダクトは薄肉角筒であり，発生応力はダクト鋼板中央部で最大となることから，ダクト鋼板を評価対象とする。フランジについては曲げモーメントが作用しないため，評価しない。ダクトは支持構造物にダクト鋼板面を接触させて支持されており，設計竜巻の気圧差によりダクトに作用する荷重は，ダクト支持構造物に作用しないことから，ダクト鋼板を評価する。なお，ダクトに接続されるダンパについては，ケーシング形状がダクト同様であり，面間寸法がダクトより短く，肉厚もダクト以上でありダクトの評価に包絡される。

角ダクトの構造強度評価における評価対象部位を図3-3に示す。

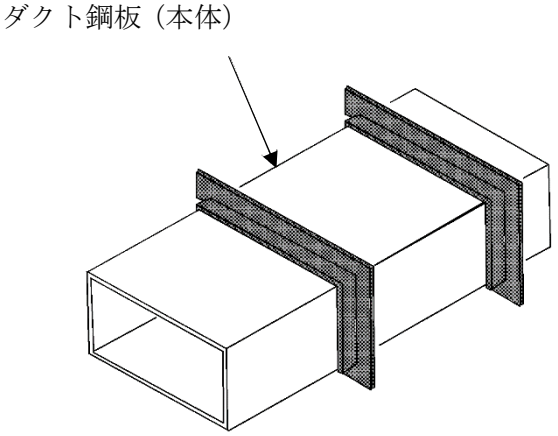


図3-3　角ダクトの評価対象部位

(b)　丸ダクト

下記の外気と繋がる換気空調系を評価対象とする。

・原子炉建屋換気系

・中央制御室換気系

気圧差による荷重は，丸ダクト本体の薄肉鋼板部に作用する。このことから，ダクト鋼板（本体）を評価対象部位として選定する。

丸ダクトは薄肉円筒であり，座屈を考慮してダクト鋼板を評価対象とする。

丸ダクトの構造強度評価における評価対象部位を図3-4に示す。

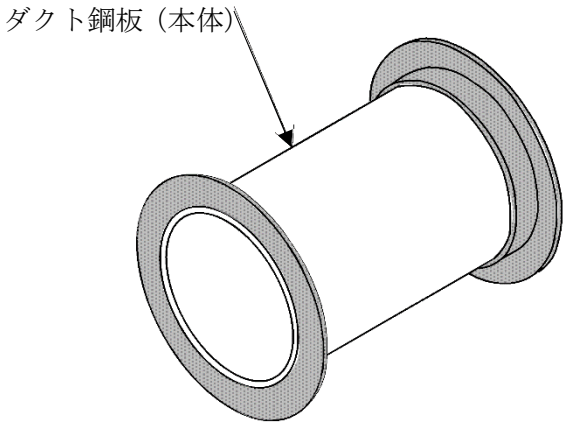


図3-4　丸ダクトの評価対象部位

b.　隔離弁の評価対象部位

隔離弁の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

気圧差による荷重は，隔離弁本体の耐圧部に作用する。

このことから，耐圧部である弁箱，弁体，弁棒を評価対象部位として選定する。

隔離弁の構造強度評価における評価対象部位を，図3-5に示す。

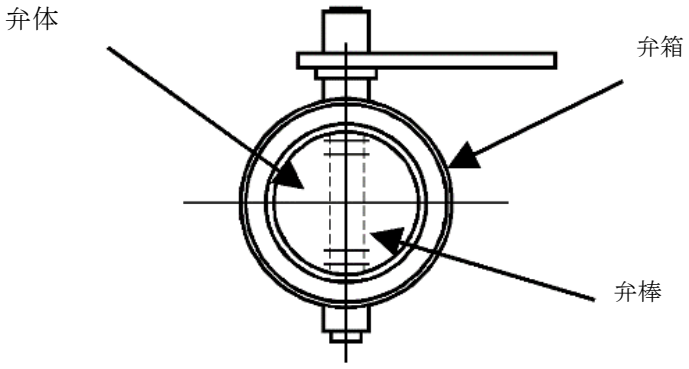


図3-5　隔離弁の評価対象部位

c.　ファンの評価対象部位

ファンの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置する，外気と繋がっている換気空調設備における気圧差による荷重は，ファンのケーシングに作用する。

このことから，ケーシングを評価対象部位として設定する。

また，屋外に設置する換気空調設備におけるファンに作用する設計竜巻による荷重は，吐出フード及びケーシングに作用し，吐出フード取付ボルト，基礎ボルトに伝達されるが，荷重を受ける各部位のうち，支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから，吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。

ファンの構造強度評価における評価対象部位を，図3-6～図3-7に示す。

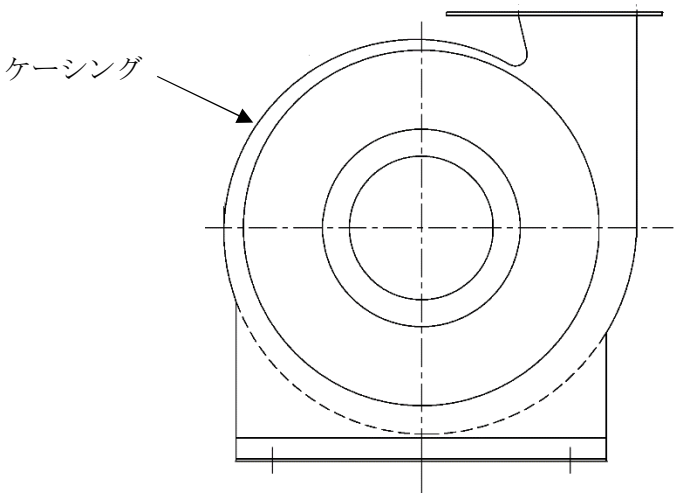


図3-6　ファンの評価対象部位（中央制御室換気系フィルタ系ファン）

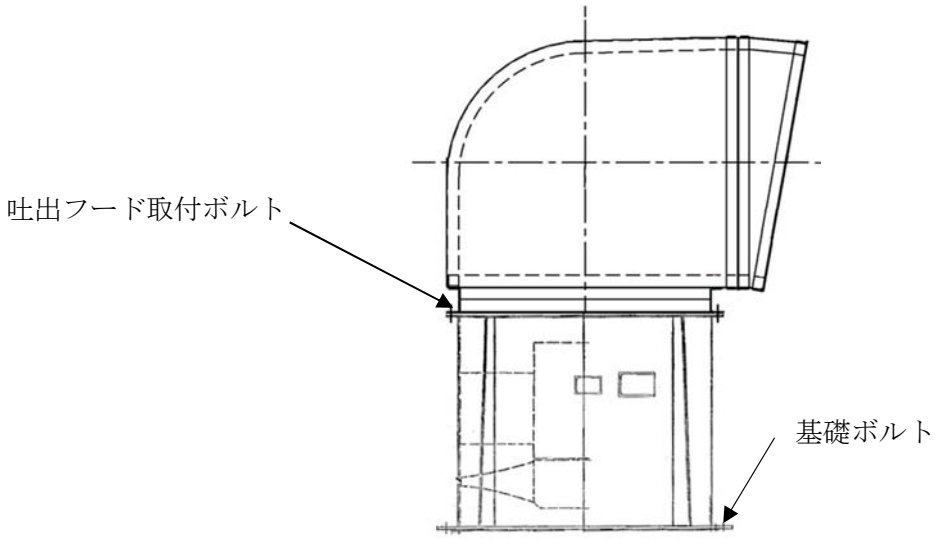


図 3-7　ファンの評価対象部位（ディーゼル発電機室ルーフベントファン）

d.　冷凍機の評価対象部位

冷凍機の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

屋外に設置する換気空調設備における冷凍機に作用する設計竜巻による荷重は，ケーシングを介し，冷凍機を固定している取付ボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち，支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから，取付ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。

冷凍機の構造強度評価における評価対象部位を，図3-8に示す。

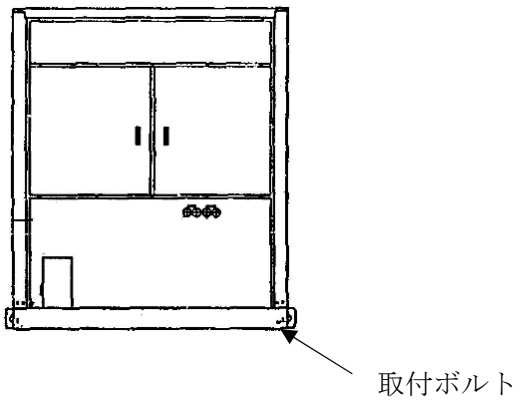


図3-8　冷凍機の評価対象部位（中央制御室換気系冷凍機）

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえ，換気空調設備の評価対象施設ごとに設定する。

(1)　衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として，防護ネット（ネットの網目寸法40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し，砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては，評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず，貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-7，屋外に設置する換気空調設備の衝突評価に用いる荷重を表3-8に示す。

表3-7　砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-8　屋外に設置する換気空調設備の衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	ディーゼル発電機室ルーフベントファン	ケーシング	飛来物による衝撃荷重
	中央制御室換気系冷凍機	ケーシング	飛来物による衝撃荷重

(2)　構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a.　荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

(a)　常時作用する荷重

常時作用する荷重として，持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

自重による荷重＝m・g

(b)　設計竜巻による荷重

イ.　建屋内にある換気空調設備については，気圧差による荷重を考慮する。

ロ.　建屋外にある換気空調設備については，風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。また，防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で，衝突時間が極めて短く，衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから，機

器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

(イ) 風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い，算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは，評価対象施設ごとに設定する。

なお，ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び中央制御室換気系冷凍機は開放された施設であるため，内外に気圧差は発生しないことから気圧差による荷重は考慮しない。

隔離弁の耐圧部には，気圧差による荷重が作用する。

建屋内のファンのケーシングには，気圧差による荷重が作用する。

屋外のファン及び冷凍機には，自重及び風圧力による荷重が作用する。

強度評価の荷重の組合せを表3-9に示す。

表3-9　荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
外気と繋がっている屋内の外部事象外部事象防護対象施設	角ダクト	ダクト鋼板（本体）	①自重 ②気圧差による荷重
	丸ダクト	ダクト鋼板（本体）	①自重 ②気圧差による荷重
	隔離弁	弁箱	①気圧差による荷重
		弁体 弁棒	①自重 ②気圧差による荷重
	ファン	ケーシング	①気圧差による荷重
屋外の外部事象外部事象防護対象施設	ファン	吐出フード取付ボルト 基礎ボルト	①自重 ②風圧力による荷重
	冷凍機	取付ボルト	①自重 ②風圧力による荷重

3.4　許容限界

(1)　衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は，評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し，外殻を構成する部材が，機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認する

ため，評価式により算定した貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを許容限界とする。屋外に設置する換気空調設備の外殻を構成する部材の厚さを表3-10に示す。

表3-10　屋外に設置する換気空調設備の外殻を構成する部材の厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ
ディーゼル発電機室ルーフベントファン	9.0mm （ケーシング）
中央制御室換気系冷凍機	1.0mm （ケーシング）

(2)　構造強度評価における許容限界

a.　角ダクトの許容限界

角ダクトの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ，「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$とする。

角ダクトの許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス2，3配管」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$から算出した以下の許容応力を許容限界とする。ただし，妥当な安全裕度を考慮し，座屈を生じないように設定する許容限界は，座屈の算出式に応じた値を許容限界として設定する。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は，角ダクトの最高使用温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて計算する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

(a)　面外荷重及び外圧による面内荷重に対する許容限界

角ダクトの面外荷重及び外圧による面内荷重に対する許容限界を表3-11，許容応力を表3-12に示す。

表 3-11　角ダクトの許容限界

状態	許容限界
	一次応力
	曲げ
許容応力状態 $\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	S_y

表 3-12　角ダクトの許容応力

材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)
SUS304	40	205

(b)　長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により発生する曲げモーメントMと発生応力σ_{p2}の関係は以下の式で表される。

[redacted]

ここで

$$I = \frac{(a+2t)(b+2t)^3 - a \cdot b^3}{12}$$

短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力σ_{p1}と長期荷重（自重）による発生応力σ_{p2}の和σ_wが許容応力σ_yに達した時に座屈が生じることから，長期荷重により発生する曲げモーメントM_Pが，許容応力σ_yと短期荷重による発生応力σ_{p1}の差（$\sigma_y - \sigma_{p1}$）から求まる長期荷重に対する許容曲げモーメント以下であることを確認する。

[redacted]

ここで，

$\sigma_y = S_y$

b.　丸ダクトの許容限界

丸ダクトの許容限界は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ，「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，クリップリング座屈の算出式に応じた値とする。

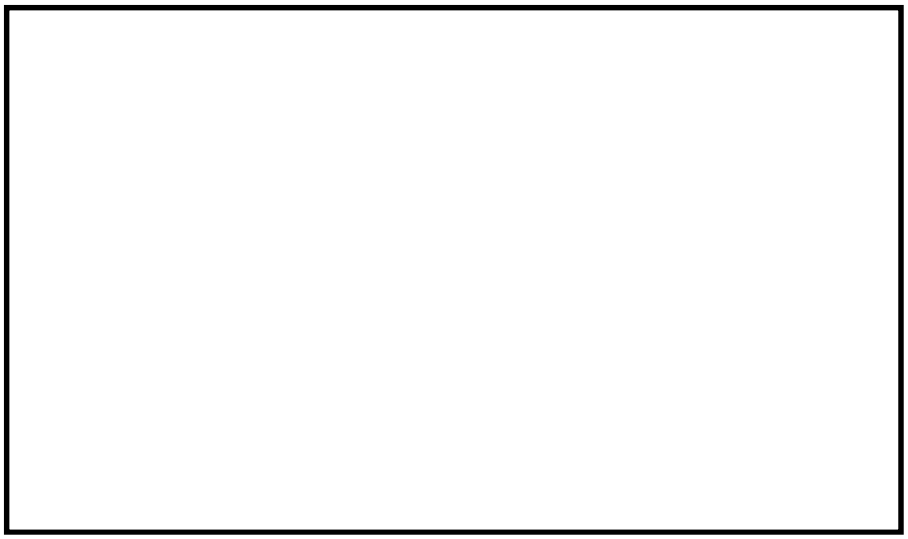
丸ダクトの許容限界は，設計荷重に対して，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し，座屈を生じないこととするため，クリップリング座屈の算出式に応じた値を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は，丸ダクトの最高使用温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場

合は，比例法を用いて計算する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

(a)　外圧に対する許容限界

外圧により生じる周方向応力は，クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力）σ_{crip}を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力σ_{crip}は，円筒かくの座屈応力の式より算出する。



(b)　長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により作用する曲げモーメントM_Pと外圧ΔP（設計竜巻による気圧低下量）の組合せが，下式を満足させるものとする。

ここで，自重による曲げによってクリップリング座屈が発生する際に作用する曲げモーメントM_{crip}は，下式より算出する。

c.　隔離弁の許容限界

隔離弁の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ，「3.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し設定する。

隔離弁の許容限界は，設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，隔離弁の耐圧部に発生する応力に対して，部材の降伏応力S_yを許容限界とする。隔離弁の許容応力を表3-13に示す。

表 3-13　隔離弁の許容応力

評価対象施設		評価対象部位	材質	温度条件(℃)	S_y (MPa)
原子炉建屋換気系隔離弁	SB2-1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D	弁箱	SS400	40	245
		弁体	SS400	40	235
		弁棒	SUS420J2	40	225
	SB2-11A, 11B	弁箱	SCPH2	40	245
		弁体	SCPH2	40	245
		弁棒	SUS403	40	390
中央制御室換気系隔離弁	SB2-18A, 18B, 19A, 19B, 20A, 20B	弁箱	SCPH2	40	245
		弁体	SCS13	40	185
		弁棒	SUS420J2	40	225

d.　ファンの許容限界

ファンの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ，「3.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，許容応力状態III_AＳとする。

ファンの許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス2ポンプ」及び「クラス2,3支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態III_AＳから算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は，ファンの温度条件に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて計算する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。ファンの許容限界を表3-14及び表3-15，許容応力を表3-16及び表3-17に示す。

表3-14　ファンの許容限界（ケーシング）

状態	許容限界
	一次一般膜応力
許容応力状態 $\mathrm{III}_A S$	Min[S_y，$0.6S_u$]

表3-15　ファンの許容限界（基礎ボルト，吐出フード取付ボルト）

状態	応力の種類		許容限界
許容応力状態 $\mathrm{III}_A S$	一次応力	引張	$1.5f_t$
		せん断	$1.5f_s$
		組合せ	Min $\{1.5\ f_t,\ (2.1\ f_t - 1.6\tau)\}$

表 3-16　ファンの許容応力（中央制御室換気系フィルタ系ファン）

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)
ケーシング	SS400	40	245	400

表 3-17　ファンの許容応力（ディーゼル発電機室ルーフベントファン）

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5f_t$ (MPa)	$1.5f_s$ (MPa)
基礎ボルト	SS400	50*	231	394	231	173	133
吐出フード取付ボルト	SS400	50*	231	394	231	173	133

注記　＊：周囲環境温度

e.　冷凍機の許容限界

冷凍機の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ，「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，許容応力状態$\mathrm{III}_A S$とする。

冷凍機の許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態$\mathrm{III}_A S$から算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を計算する際は，冷凍機の温度条件に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中

間の値の場合は，比例法を用いて計算する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。冷凍機の許容限界を表 3-18 に，許容応力を表 3-19 に示す。

表3-18　冷凍機の許容限界（取付ボルト）

状態	応力の種類		許容限界
許容応力状態 $\mathrm{III}_A S$	一次応力	引張	$1.5 f_t$
		せん断	$1.5 f_s$
		組合せ	Min｛$1.5 f_t$，$(2.1 f_t - 1.6\tau)$｝

表 3-19　冷凍機の許容応力（取付ボルト）

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
取付ボルト	SS400	50*	231	394	231	173	133

注記　＊：周囲環境温度

3.5　評価方法

(1)　衝突評価の評価方法

屋外に設置する換気空調設備の衝突評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^{2}}{1.4396 \times 10^{9} \cdot K^{2} \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2)　構造強度評価の評価方法

a.　角ダクトの評価方法

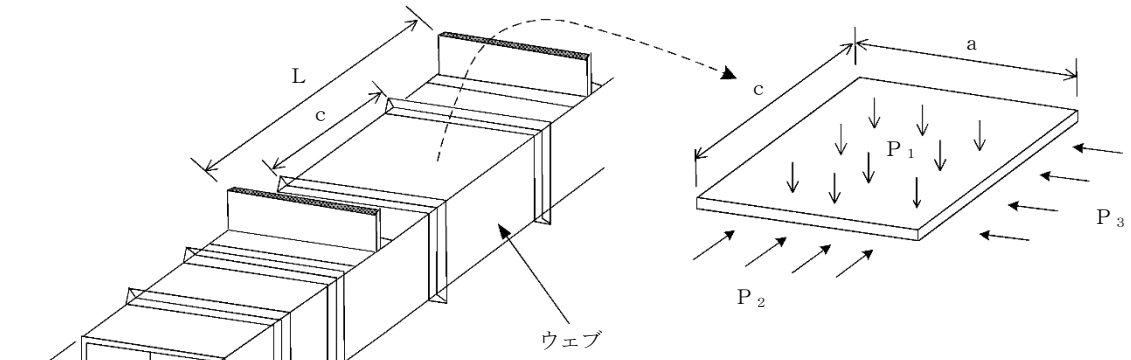
角ダクトの構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している角ダクトの評価式を用いる。

(a)　計算モデル

任意のダクト面に着目すると，ダクト面は両サイドをほかの2つの側面のダクト面で，軸方向（流れ方向）を補強部材（及び接続部材）で支持された長方形の板とみなすことができる。そのため，鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された4辺単

純支持矩形板とし評価を行う。自重等によりダクトに生じる曲げモーメントに関し，ウェブでの応力分布が線形で，中立面がフランジの両側から等距離の中央線上にあるとする。

角ダクトモデル図を図3-9に示す。



a：ダクト幅（mm）　　L：ダクトサポートの支持間隔（mm）

b：ダクト高さ（mm）　　t：ダクト板厚（mm）

c：補強ピッチ（mm）　　P_1：面外荷重による応力（MPa）

P_2：面内荷重による応力（ダクト軸方向）（MPa）

P_3：面内荷重による応力（ダクト軸直方向）（MPa）

図3-9　角ダクトモデル図

(b)　計算方法

ダクトにかかる外圧は，設計竜巻により発生する気圧差が影響するので，

$P = \Delta P$

イ．　面外荷重による発生応力

4辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力σ_{max}とその面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量δ_{max}との関係は，以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

式（3.2）より得られるδ_{max}の値を式（3.1）へ代入し，σ_{max}を算出する。

ロ． 面内荷重による発生応力

機械工学便覧の「クリップリングの考え方」と日本機械学会ジャーナルの「薄肉長方形及び箱形はりの座屈と強度」に記載されている鵜戸口の式を準用する。

（イ） 外圧による発生応力

薄肉構造物のうち，長方形板の弾性座屈の式より算出する。

（ロ） 自重による曲げモーメント

自重によりダクト鋼板に作用する曲げモーメントは，以下の式により算出する。

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

b.　丸ダクトの評価方法

丸ダクトの構造強度評価は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(a)　計算モデル

丸ダクトは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし，計算を行う。丸ダクトモデル図を図3-10に示す。

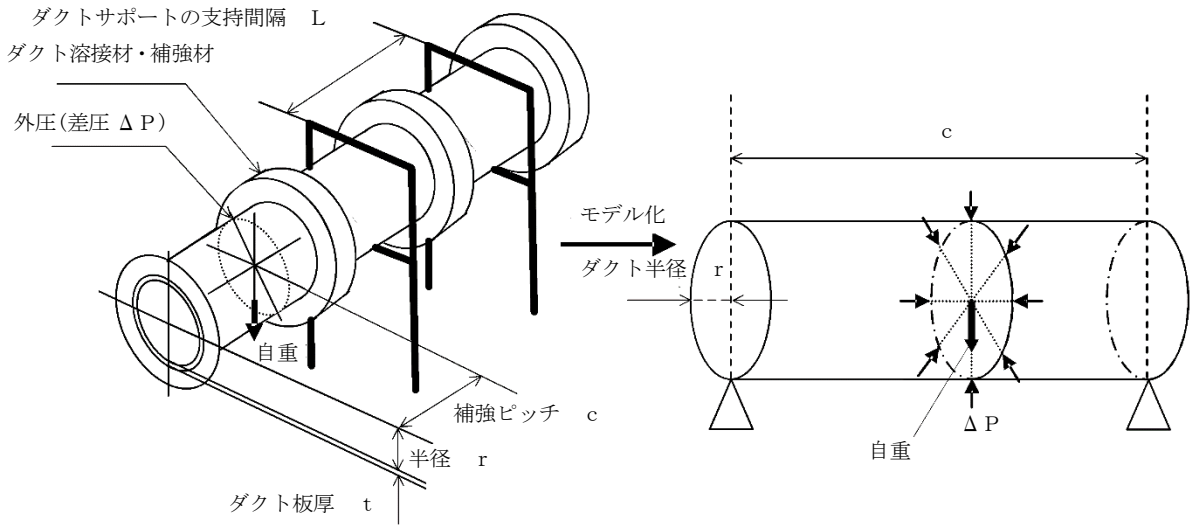


図3-10　丸ダクトモデル図

(b)　計算方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

イ.　外圧により生じる周方向応力σ_{crip1}

$$\sigma_{crip1}=\frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

ロ.　自重により作用する曲げモーメントM_P

$$M_p=\frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

c.　隔離弁の評価方法

隔離弁の構造強度評価は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価方法を用いる。

(a)　弁箱

イ.　計算モデル

弁箱は両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし，計算を行う。弁箱のモデル図を図3-11に示す。

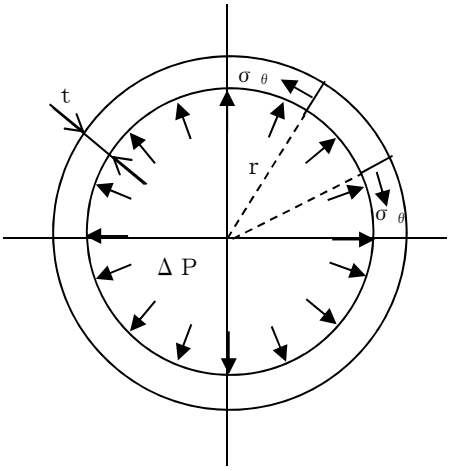


図3-11　弁箱モデル図

ロ．　計算方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_\theta = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

(b)　弁体

イ．　計算モデル

弁体は円板であるため，等分布荷重が作用する周辺支持円板とみなし，計算を行う。評価モデル図を図 3-12 に示す。

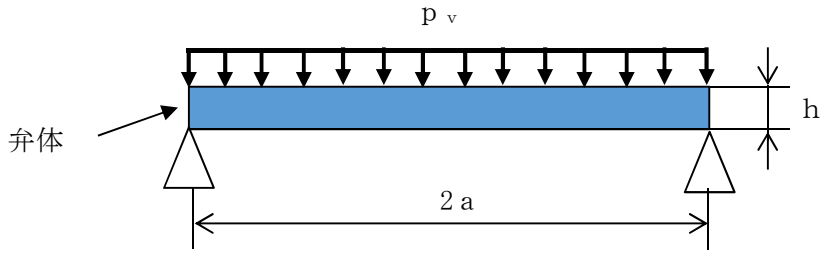


図 3-12　弁体モデル図

ロ．　計算方法

弁体に作用する曲げ応力の計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力P_1及び自重により弁体に受ける応力P_2は次による。

$$P_1 = \Delta P$$

$$P_2 = \frac{m_v \cdot g}{A_v}$$

ここで

$$A_v = \frac{\pi}{4}(2a)^2$$

弁体に受ける応力p_vは次による。

$$p_v = P_1 + P_2$$

弁体に対する曲げ応力は次による。

$$\sigma_{max} = 1.24 \cdot \frac{p_v \cdot a^2}{h^2}$$

(c)　弁棒

イ．　計算モデル

弁体に受ける等分布荷重を支持する弁棒断面について，計算を行う。評価モデル図を図 3-13 に示す。

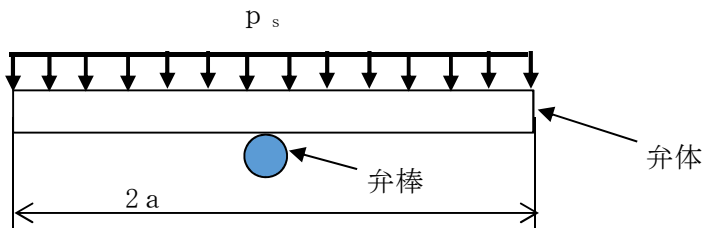


図 3-13　弁棒モデル図

ロ．　計算方法

弁棒に作用するせん断応力の計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重F_1及び弁体及び弁棒自重により弁棒に受ける荷重F_2は次による。

$$F_1 = \Delta P \cdot \frac{\pi}{4}(2a)^2$$

$$F_2 = (m_v + m_s) \cdot g$$

弁棒に受ける荷重p_sは次による。

$$p_s = F_1 + F_2$$

弁棒に対するせん断応力は次による。

$$\tau = \frac{p_s}{A_s}$$

ここで

$$A_s = \frac{\pi}{4} d^2$$

d. ファンの評価方法

ファンの構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(a)　中央制御室換気系フィルタ系ファン

イ.　計算モデル

ファンは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし，計算を行う。ファンケーシングモデル図を図3-14に示す。

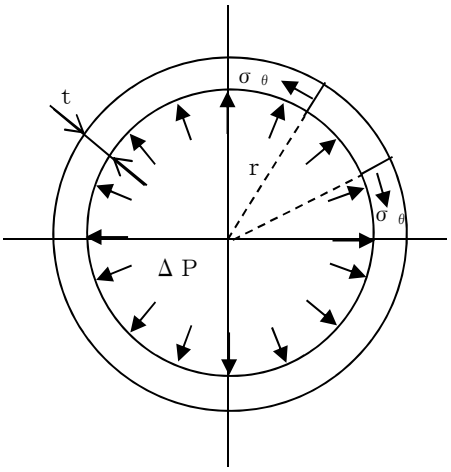


図3-14　ファンケーシングモデル図

ロ.　計算方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_\theta = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

(b)　ディーゼル発電機室ルーフベントファン

イ．　計算モデル

ファンの計算モデルは1質点モデルとし，竜巻によって生じる転倒荷重がファンの上端に作用することとする。受圧面積を含めたファンモデル図を図3-15に，基礎ボルト配置図及び吐出フード取付ボルト配置図を図3-16，図3-17に示す。

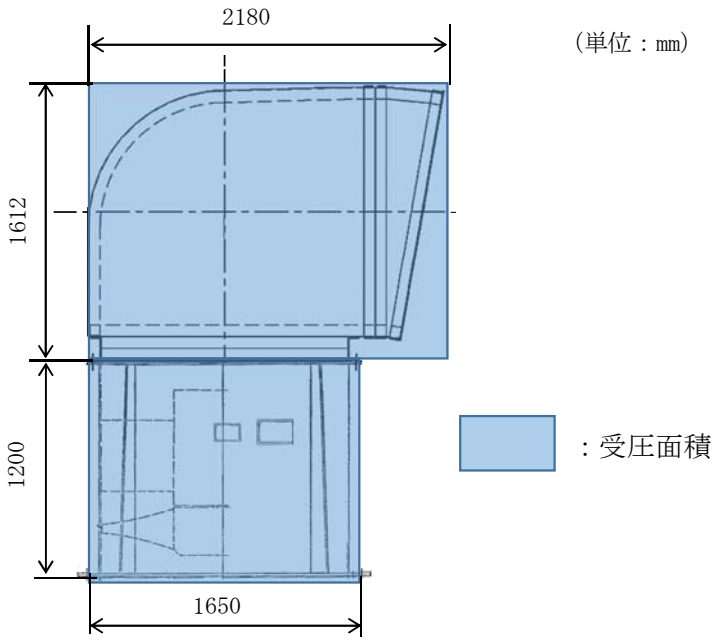


図 3-15　ファンモデル図

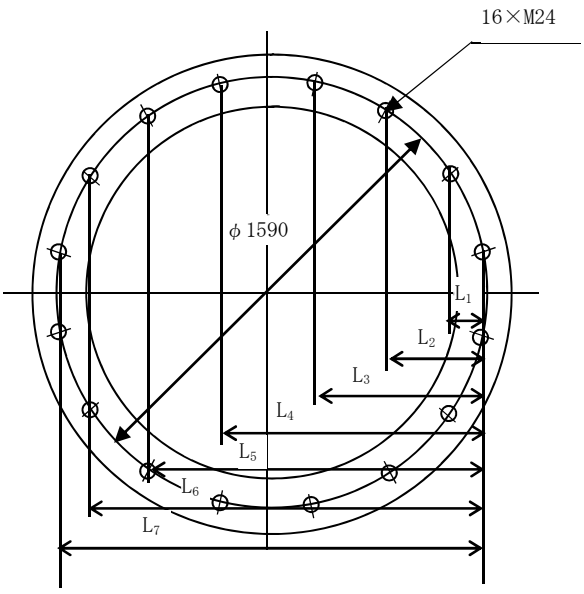


図 3-16　基礎ボルト配置図

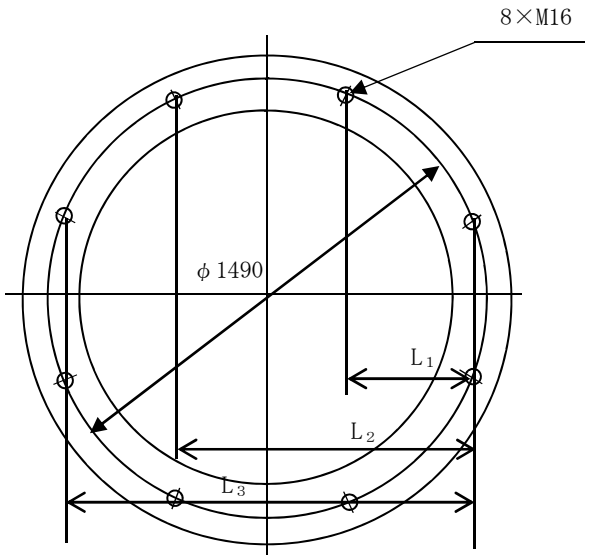


図 3-17　吐出フード取付ボルト配置図

ロ．　計算方法

（イ）　引張応力

$$M=2\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot L_i \quad \cdots \quad (3.3)$$

$$\frac{F_i}{L_i}=\text{一定} \quad \cdots \quad (3.4)$$

(3.3)　(3.4) 式より，

$$F_n=\frac{M}{2\sum_{i=1}^{n} L_i^{\,2}} L_n$$

ここで

$$M=W_w \cdot h-m \cdot g \cdot \frac{L_n}{2}$$

基礎ボルト，吐出フード取付ボルトに生じる引張応力 σ_b は次式より求める。

$$\sigma_b=\frac{F_n}{A_b}$$

（ロ） せん断応力

基礎ボルト，吐出フード取付ボルトに対するせん断応力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・ せん断力

$Q_b = W_w$

・ せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

e. 冷凍機の評価方法

冷凍機の構造強度評価は，添付書類「V-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(a) 計算モデル

冷凍機の計算モデルは立方体の1質点モデルとし，竜巻によって生じる転倒荷重が全高の1/2の位置に作用することとする。冷凍機モデル図を図3-18に示す。

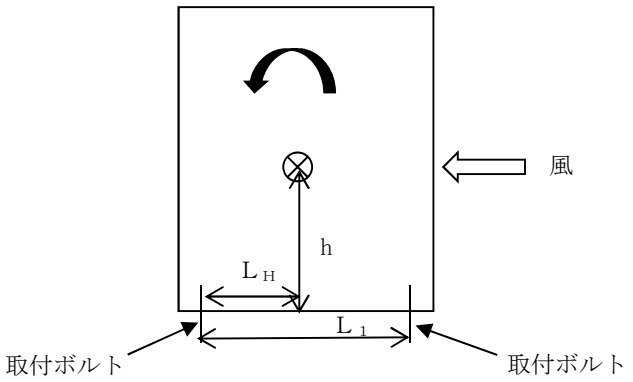


図 3-18 冷凍機モデル図

(b) 計算方法

イ. 引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 3-18 で取付ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

（イ） 引張力

$$F_b = \frac{W_w \cdot h - m \cdot g \cdot L_H}{n_f \cdot L_1}$$

（ロ） 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ロ. せん断応力

取付ボルトに対するせん断応力は，取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・ せん断力

$Q_b = W_w$

・ せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

4. 評価条件

(1) 角ダクト

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1に示す。

角ダクトにおいて，気圧差による発生応力が最も大きくなるものは面外荷重であり，その発生応力比が最も厳しくなる系統の角ダクトについて記載する。

表 4-1 評価条件

系統	ダクト種別
中央制御室換気系	SUS

ΔP (N/m^2)	g (m/s^2)	ν (－)
8.9×10^3	9.80665	0.3

a (mm)	b (mm)	t (mm)	c (mm)	L (mm)
3200	2000	2.0	1830	1830

μ (kg/m)	gD_p (N/m^2)	材質	最高使用温度 (℃)	E (MPa)
165.1	155.5	SUS304	40	193800

(2) 丸ダクト

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-2に示す。丸ダクトにおいて，気圧差による発生応力が最も厳しくなるのは周方向応力であるため，その発生応力比が最も厳しくなる系統の丸ダクトについて記載する。

表 4-2　評価条件

系統	ダクト種別
中央制御室換気系	SUS

ΔP (N/m^2)	g (m/s^2)	ν (－)
8.9×10^3	9.80665	0.3

ダクトサイズ (mm)	c (mm)	L (mm)
ϕ450×0.8	960	3000

μ (kg/m)	材質	最高使用温度 (℃)	E (MPa)
31.3	SUS304	40	193800

(3)　隔離弁の評価条件

「3.　強度評価方法」に用いる評価条件を表4-3～表4-5に示す。

表 4-3　評価条件（原子炉建屋換気系隔離弁（SB2-1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D））

ΔP (N/m^2)	r (mm)	t (mm)	a (mm)	m_v (kg)
8.9×10^3	1150	12	1133	1370

m_s (kg)	g (m/s^2)	h (mm)	d (mm)
315	9.80665	32	150

表 4-4　評価条件（原子炉建屋換気系隔離弁（SB2-11A, 11B））

ΔP (N/m^2)	r (mm)	t (mm)	a (mm)	m_v (kg)
8.9×10^3	241	28	217	35

m_s (kg)	g (m/s^2)	h (mm)	d (mm)
10	9.80665	30	42

表 4-5　評価条件（中央制御室換気系隔離弁（SB2-18A, 18B, 19A, 19B, 20A, 20B））

ΔP (N/m^2)	r (mm)	t (mm)	a (mm)	m_v (kg)
8.9×10^3	222.5	25	215	53

m_s (kg)	g (m/s^2)	h (mm)	d (mm)
10	9.80665	10	58

(4)　ファンの評価条件

「3.　強度評価方法」に用いる評価条件を表4-6～表4-8に示す。

表 4-6　評価条件（中央制御室換気系フィルタ系ファン）

ΔP (N/m^2)	r (mm)	t (mm)
8.9×10^3	595.5	4.5

表 4-7　評価条件（ディーゼル発電機室ルーフベントファン基礎ボルト）

q (N/m^2)	G (-)	W_M (N)	ケーシングの 風力係数C (-)	吐出フードの 風力係数C (-)
6.1×10^3	1.0	0	1.2	2.4

ケーシングの 受圧面積A (m^2)	吐出フードの 受圧面積A (m^2)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)
1.980	3.514	118.7	338.0	624.6

L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_6 (mm)	L_7 (mm)	g (m/s^2)
934.8	1221.4	1440.7	1559.4	9.80665

m (kg)	ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm^2)	h (mm)
2440	M24	16	452.4	2812

表 4-8　評価条件（ディーゼル発電機室ルーフベントファン吐出フード取付ボルト）

q (N/m^2)	G (-)	W_M (N)	L_1 (mm)	L_2 (mm)
6.1×10^3	1.0	0	403.2	973.4

L_3 (mm)	C (-)	g (m/s^2)	A (m^2)	m (kg)
1376.6	2.4	9.80665	3.514	1500

A_b (mm^2)	h (mm)	ボルト サイズ	N (-)
201.1	1612	M16	8

(5)　冷凍機の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-9に示す。

表 4-9　評価条件

q (N/m^2)	G (-)	W_M (N)	L_H (mm)	L_1 (mm)
6.1×10^3	1	0	910.0	1890

C (-)	g (m/s^2)	A (m^2)	m (kg)	ボルト サイズ
2.4	9.80665	11.48	4680	M20

n_f (-)	N (-)	A_b (mm^2)	h (mm)
4	8	314.2	1125

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	0.58	0.97

砂利の貫通限界厚さ(0.97 mm)と屋外に設置する換気空調設備の外殻を構成する部材の厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは，屋外に設置する換気空調設備の外殻を構成する部材の厚さ未満である。

なお，仮に中央制御室換気系冷凍機のケーシングを砂利が貫通した場合においても，ケーシング内部は鋼製の圧縮機，配管等で構成されており，ケーシングを貫通することにより衝突エネルギーが減少した砂利が内部の圧縮機，配管等の機能に影響を及ぼすことはない。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果（砂利）

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
ディーゼル発電機室ルーフベントファン	9.00	0.97	貫通しない
中央制御室換気系冷凍機	1.00	0.97	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 角ダクト

角ダクト鋼板（本体）の構造強度評価結果を表5-3に示す。

ダクト鋼板に発生する応力は許容応力以下であり，また，自重（長期）＋設計竜巻による内外差圧（短期）による面内荷重による発生モーメントは許容応力以下である。

表 5-3　評価結果（角ダクト）

系統	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)
中央制御室換気系	鋼板	3200×2000×2.0

面外荷重		外圧による面内荷重		長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧による面内荷重）	
発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生値 (kN・mm)	許容値 (kN・mm)
125	205	61	205	678	81597

b.　丸ダクト

丸ダクト鋼板（本体）の構造強度評価結果を表5-4に示す。

ダクト鋼板に発生する周方向応力は許容応力以下であり，また，長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）により発生する応力は許容応力以下である。

表 5-4　評価結果（丸ダクト）

系統	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)
中央制御室換気系	SUS	φ450×0.8

気圧差により生じる周方向応力		長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による制限値	
発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生値 (－)	許容値 (－)
3	9	0.3	0.9

c. 隔離弁

隔離弁の構造強度評価結果を表5-5～表5-7に示す。

弁箱，弁体，弁棒に発生する応力は許容応力以下である。

表 5-5 評価結果（弁箱）

評価対象施設		弁箱に発生する周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉建屋換気系隔離弁	SB2-1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D	1	245
	SB2-11A, 11B	1	245
中央制御室換気系隔離弁	SB2-18A, 18B, 19A, 19B, 20A, 20B	1	245

表 5-6 評価結果（弁体）

評価対象施設		弁体に発生する曲げ応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉建屋換気系隔離弁	SB2-1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D	20	235
	SB2-11A, 11B	1	245
中央制御室換気系隔離弁	SB2-18A, 18B, 19A, 19B, 20A, 20B	8	185

表 5-7 評価結果（弁棒）

評価対象施設		弁棒に発生するせん断応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉建屋換気系隔離弁	SB2-1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D	3	225
	SB2-11A, 11B	2	390
中央制御室換気系隔離弁	SB2-18A, 18B, 19A, 19B, 20A, 20B	1	225

d. ファン

ファンの構造強度評価結果を表5-8，表5-9に示す。

ケーシングに発生する周方向応力は，許容応力以下である。

基礎ボルト及び吐出フード取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-8　評価結果（ケーシング）

評価対象施設	ケーシングに発生する 周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
中央制御室換気系フィルタ系ファン	2	240

表 5-9　評価結果（基礎ボルト，吐出フード取付ボルト）

評価対象施設		応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
ディーゼル発電機室 ルーフベントファン	基礎ボルト	引張	39	173
		せん断	10	133
		組合せ	39	173
	吐出フード取付 ボルト	引張	83	173
		せん断	32	133
		組合せ	83	173

e. 冷凍機

冷凍機の竜巻発生時の構造強度評価結果を表5-10に示す。

取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-10　評価結果（取付ボルト）

評価対象施設	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
中央制御室換気系冷凍機	引張	63	173
	せん断	67	133
	組合せ	63	135

Ⅴ-3-別添 1-1-6　ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 3
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 10
3.3 荷重及び荷重の組合せ 13
3.4 許容限界 16
3.5 評価方法 17
4. 評価条件 30
5. 強度評価結果 34

1. 概要

本資料は，添付書類「V-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「ディーゼル発電機用海水ポンプ」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても，送水機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電機用海水ポンプについて，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，ディーゼル発電機用海水ポンプの「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

ディーゼル発電機用海水ポンプは，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外の海水ポンプ室に設置する。

海水ポンプ室の位置図を図2-1に示す。

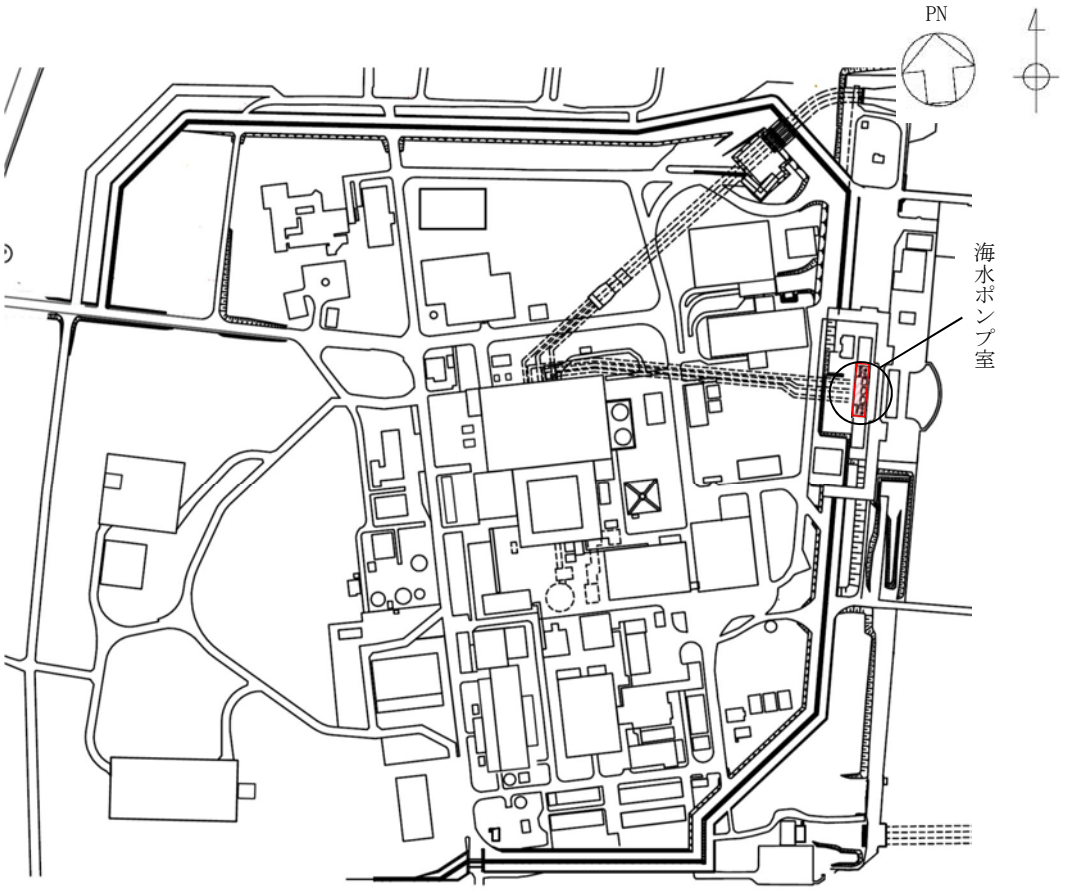
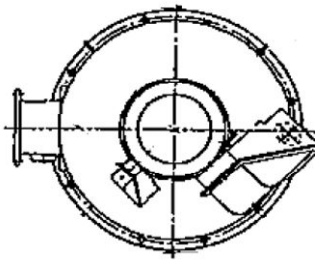


図 2-1　海水ポンプ室の位置図

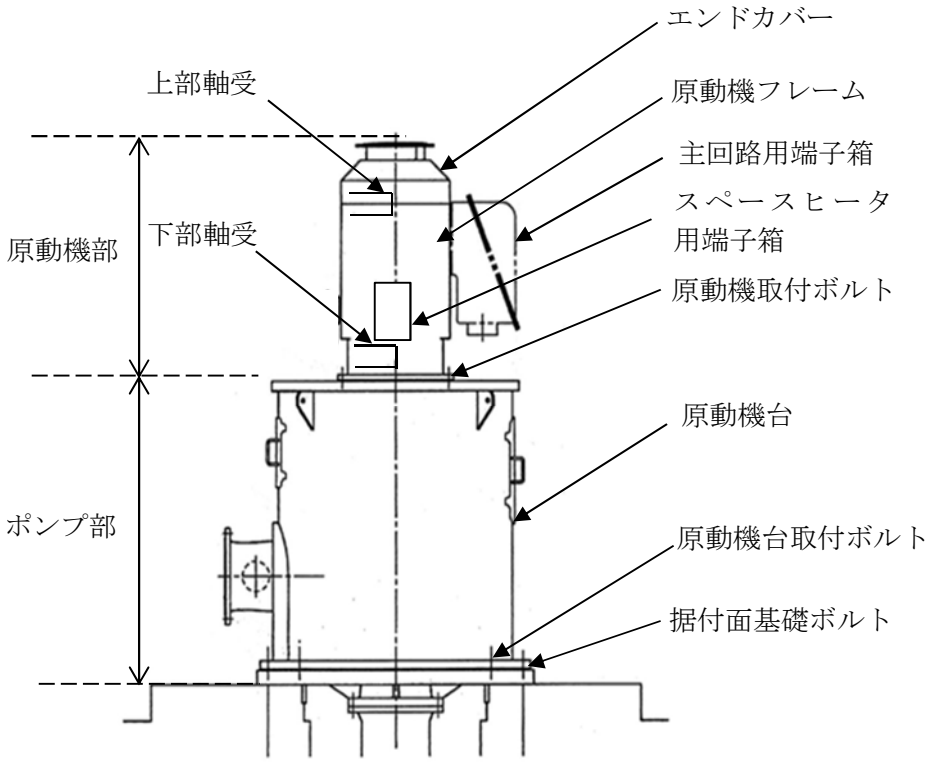
2.2　構造概要

ディーゼル発電機用海水ポンプについて，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

ディーゼル発電機用海水ポンプは，ポンプ据付面から原動機台までのポンプ部と，原動機台より上部の原動機部からなる立形ポンプであり，同一設計の非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ2台及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ1台を設置している。ディーゼル発電機用海水ポンプ原動機の形状は円筒形を基本としたフレームに，主回路用端子箱等が付加された形態である。ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図を図2-2に示す。



(a) 上面図



(b) 側面図

図2-2　ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図

2.3　評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が，許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

(1)　衝突評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては，防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。衝突評価では，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価における許容限界は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，外殻を構成する部材の厚さとする。

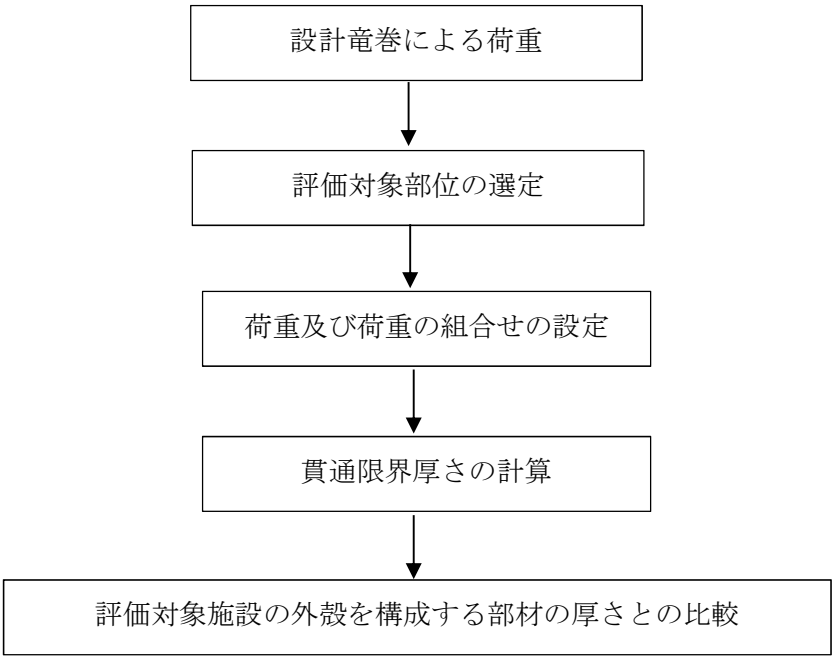


図2-3　ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価フロー

(2)　構造強度評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価フローを図2-4に示す。構造強度評価においては，ディーゼル発電機用海水ポンプに対して，設計竜巻による荷重に運転時の状態で作用する荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において，その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の構造強度評価には，設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価における許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓとする。

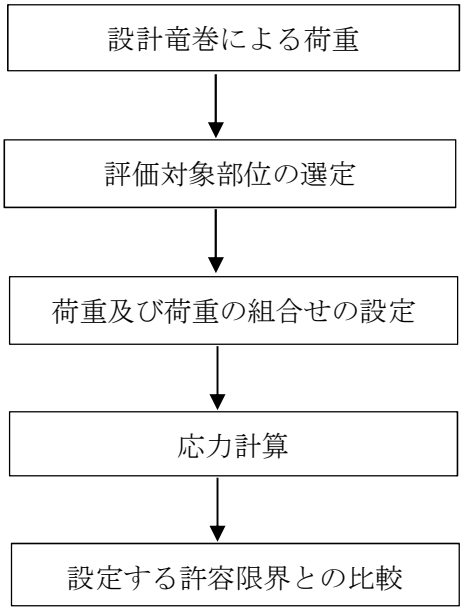


図2-4　ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価フロー

(3)　動的機能維持評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価フローを図 2-5 に示す。ディーゼル発電機用海水ポンプは動的機器であるため，構造強度評価に加え，軸受部の動的機能維持評価を行う。動的機能維持評価においては，ディーゼル発電機用海水ポンプ据付面から上部の受圧面積が大きくなる方向から風が当たることを想定し，設計竜巻の風圧力による荷重を受けた際のフレーム変位により生じる軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下であることを確認する。動的機能維持評価では，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度

NT2 補② Ⅴ-3-別添 1-1-6 R7

計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価における許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，軸受部の接触面圧の許容荷重とする。

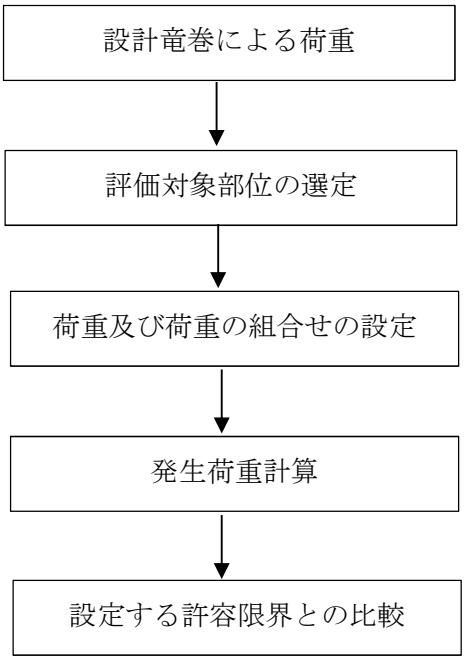


図2-5　ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 「タービンミサイル評価について」（昭和52年7月20日　原子炉安全専門審査会）
- 「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（社）日本電気協会
- 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ１-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）
- 「新版機械工学便覧」（1987年4月日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 衝突評価の記号の定義

ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	－	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の記号の定義

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表3-2及び表3-3に示す。

表3-2 構造強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_b	mm^2	ボルトの断面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	原動機フレーム外径
d	mm	原動機フレーム内径
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_b	N	ボルトに作用する引張力
F_H	N	ボルトに作用するせん断力
F_i	N	各ボルトに作用する引張力
F_n	N	ボルトに作用する最大引張力
f_b	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容曲げ応力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力

表3-2　構造強度評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	N	自重による荷重
h	mm	基準面からの重心距離
h_u	mm	基準面からエンドカバー上端までの高さ
L_H	mm	重心と支点間の距離
L_1～L_4	mm	支点と評価ボルト間の距離
L_i	mm	各ボルト間の距離
L_n	mm	各ボルト間距離のうち最長距離
M	N･mm	設計竜巻により評価対象部位に作用するモーメント
m	kg	質量
N	－	ボルトの本数
q	N/m^2	設計用速度圧
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T1}=W_P$）
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$）
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
Z	mm^3	断面係数
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
π	－	円周率
σ	MPa	原動機フレームの曲げ応力
σ_{bt}	MPa	ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	せん断応力

表3-3　動的機能維持評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
a	mm	部材間の長さ
a_1	mm	ポンプ据付面から荷重作用点までの長さ
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	回転子コア径
D_p	mm	原動機台外径
d_p	mm	原動機台内径
E	MPa	縦弾性係数
E_p	MPa	原動機台の縦弾性係数
E_m’	MPa	回転子の縦弾性係数
G	－	ガスト影響係数
h’	mm	基準点から作用点までの距離
h_1’	mm	荷重作用点から荷重作用点までの距離
I	mm^4	断面二次モーメント
I_m’	mm^4	回転子の断面二次モーメント
I_p	mm^4	原動機台の断面二次モーメント
i	rad	傾斜
i_1	rad	ポンプ据付面から荷重作用点の傾斜
M	N･mm	設計竜巻により作用するモーメント
M_a	N･mm	設計竜巻により作用するモーメント
q	N/m^2	設計用速度圧
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$）
W’	N	たわみ量及び発生荷重計算において設計竜巻による風圧を受ける面それぞれのW_{T2}の合計の複合荷重
W”	N	発生荷重
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
x_1	mm	荷重作用点から原動機下部軸受部までの距離
x_2	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部までの距離
x’	mm	評価対象部から支点までの距離
x_a’	mm	ポンプグランド部から原動機下部軸受部までの距離

表3-3　動的機能維持評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
x_b'	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部までの距離
y	mm	たわみ量
y_1	mm	ポンプ据付面から荷重作用点のたわみ量
y_2	mm	荷重作用点から原動機下部軸受部のたわみ量
y_3	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部のたわみ量
y_a	mm	原動機下部案内軸受部のたわみ量
y_b	mm	原動機上部案内軸受部のたわみ量
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
π	－	円周率
δ	mm	フレーム変位量

3.2　評価対象部位

ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえ，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

(1)　衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により，ディーゼル発電機用海水ポンプに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため，貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

ディーゼル発電機用海水ポンプ地上部の全方向からの飛来物を考慮し，貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として最薄部となる主回路用端子箱及びスペースヒータ用端子箱を選定する。

ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

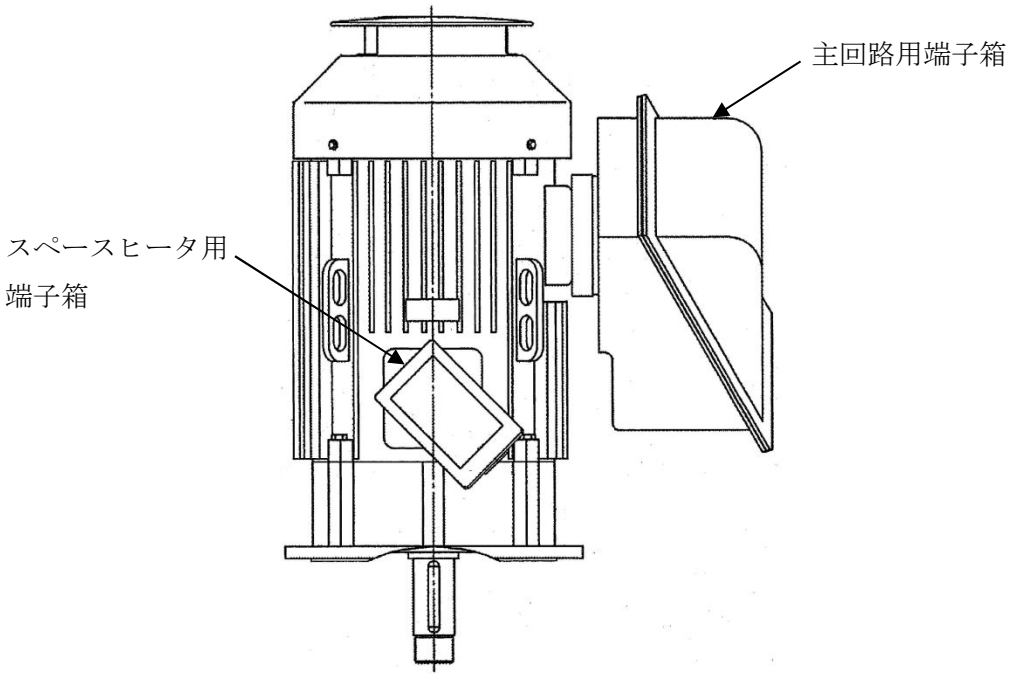


図3-1　ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位（衝突評価）

(2)　構造強度評価の評価対象部位

a.　ポンプ部

ポンプ部について，原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は，原動機フレーム及び原動機台に作用し，原動機台を介して，基礎面及び原動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち，支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから，以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

・原動機取付ボルト

・原動機台取付ボルト

・据付面基礎ボルト

b. 原動機部

原動機部について，原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は，原動機フレーム及び付属品に作用し，原動機フレーム及び付属品を介して，付属品の取付部を固定するボルトに作用する。

このことから，以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

・原動機フレーム
・主回路用端子箱取付ボルト
・スペースヒータ用端子箱取付ボルト
・エンドカバー取付ボルト

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価における評価対象部位を図3-2，図3-3に示す。

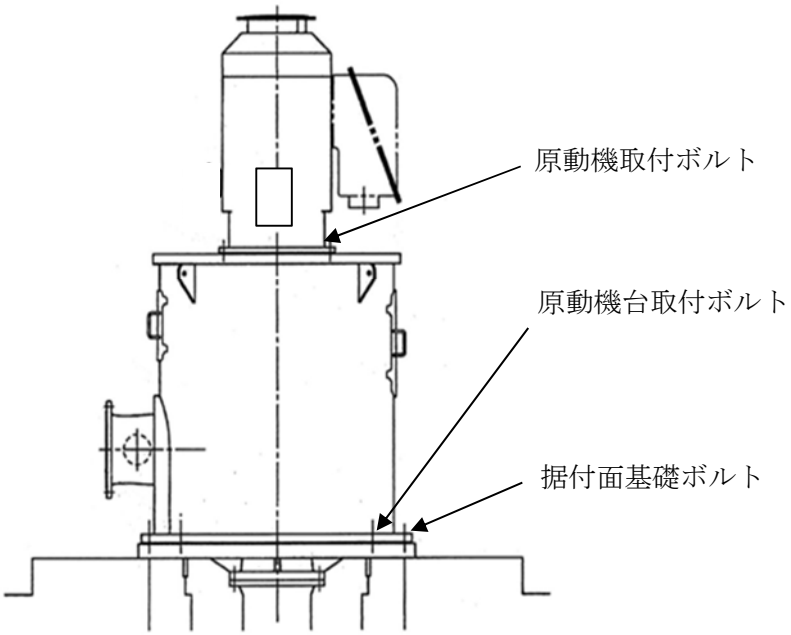


図3-2　ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価部位図（ポンプ部）

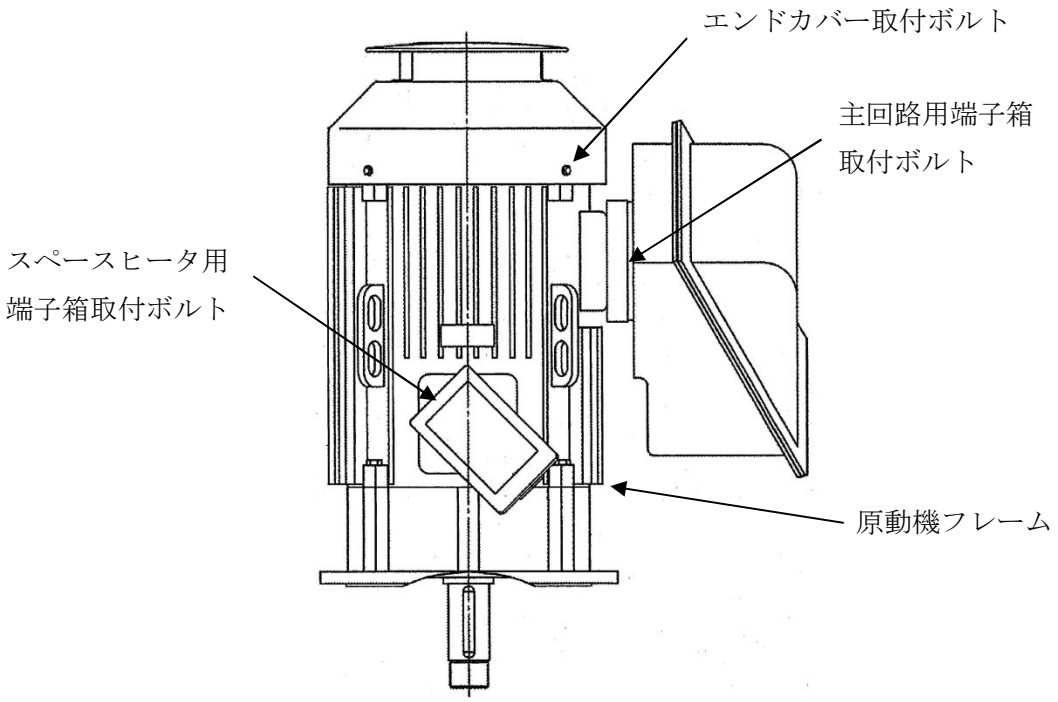


図 3-3　ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価部位図（原動機部）

(3)　動的機能維持評価の評価対象部位

ポンプ据付面より上部に設計竜巻による荷重を受けた際に，原動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため，以下の部位を動的機能維持評価の評価対象部位として選定する。

・原動機下部軸受部

・原動機上部軸受部

ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価における評価対象部位を図 3-4 に示す。

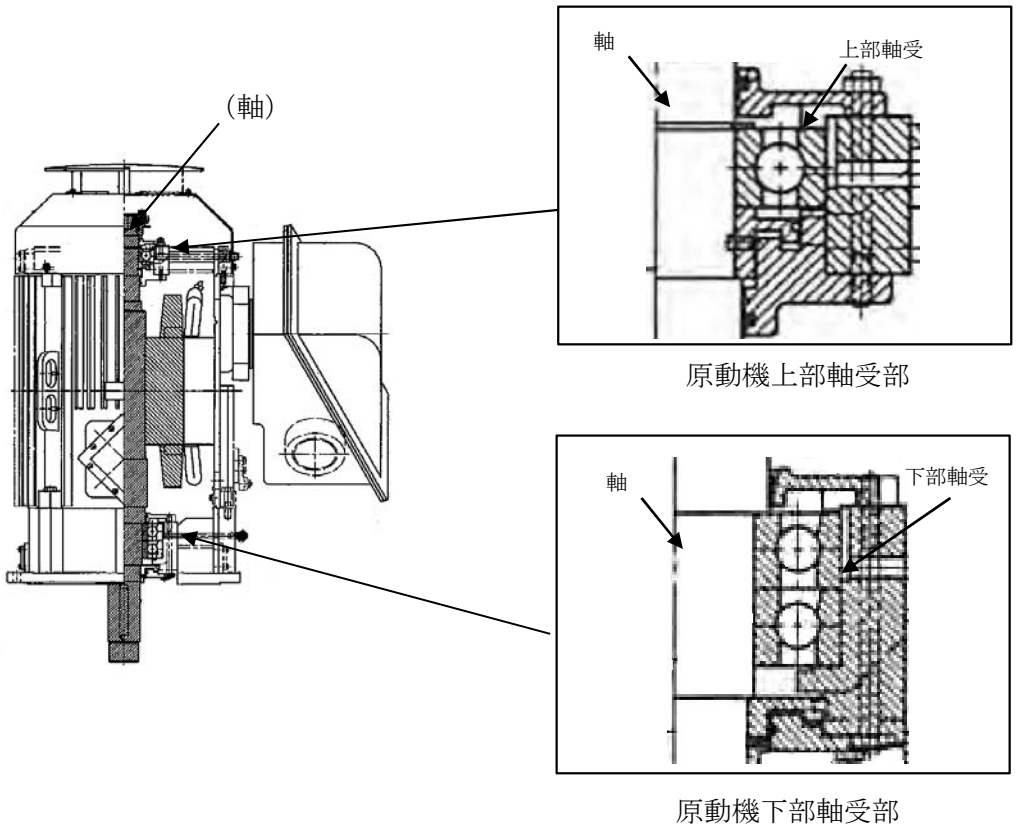


図 3-4　ディーゼル発電機用海水ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「V-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として，防護ネット（ネットの網目寸法40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し，砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては，評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず，貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-4，ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価に用いる荷重を表3-5に示す。

表3-4　砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-5　ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	ディーゼル発電機用海水ポンプ	・主回路用端子箱 ・スペースヒータ用端子箱	飛来物による衝撃荷重

(2)　構造強度評価及び動的機能維持評価の荷重及び荷重の組合せ

a.　荷重の設定

構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる荷重を以下に示す。

(a)　常時作用する荷重

常時作用する荷重として，持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

(b)　設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。また，防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で，衝突時間が極めて短く，衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから，機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ．　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い，算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ．　気圧差による荷重(W_P)

気圧差による荷重W_Pは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(b) 気圧差による荷重」に示す式に従い，算出する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

ハ．　荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重W_T(W_{T1}, W_{T2})は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い，算出する。なお，ディーゼル発電機用海水ポンプは気圧差が生じ難い構造であるため，複合荷重の選定において，W_{T2}としては気圧差を考慮するが，W_{T1}の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

(c)　運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては，鉛直下向きに作用するポンプスラスト荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ，ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

ボルト材の構造強度評価において，評価対象部位が鉛直方向に取り付けられており，自重が抗力となる場合は保守的に考慮せず，水平方向に取り付けられている場合（主回路用端子箱取付ボルト，スペースヒータ用端子箱取付ボルト）は，端子箱自重を考慮する。また，運転時荷重が作用する評価対象部位は全て鉛直方向に取り付けられており，運転時荷重は鉛直方向下向きに作用し抗力となるため，それぞれの構造強度評価を行う際の荷重としては保守的に考慮しない。

ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位に作用する荷重及び強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6　荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位			荷重
屋外の外部事象防護対象施設	ディーゼル発電機用海水ポンプ	構造強度評価	ポンプ部	原動機取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				原動機台取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				据付面基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			原動機部	原動機フレーム	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				主回路用端子箱取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③端子箱自重
				スペースヒータ用端子箱取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③端子箱自重
				エンドカバー取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
		動的機能維持評価	原動機上部軸受部		①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			原動機下部軸受部		①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重

3.4　許容限界

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，ＪＥＡＧ４６０１に基づく許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓの許容応力の許容荷重を用いる。

(1)　衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は，評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し，外殻を構成する部材が，機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため，評価式により算定した貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを許容限界とする。ディーゼル発電機用海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さを表3-7に示す。

表3-7　ディーゼル発電機用海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ
ディーゼル発電機用海水ポンプ	2.3mm （主回路用端子箱，スペースヒータ用端子箱）

(2)　構造強度評価における許容限界

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス2,3支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓから算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価における許容限界を表3-8，許容応力を表3-9に示す。

表3-8　ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
ボルト	Ⅲ$_{A}$Ｓ	一次応力	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	Min｛$1.5f_t$，$(2.1f_t-1.6\tau)$｝
原動機フレーム	Ⅲ$_{A}$Ｓ	一次応力	曲げ	$1.5f_b$

表 3-9　ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価における許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5f_t$ (MPa)	$1.5f_s$ (MPa)	$1.5f_b$ (MPa)
原動機取付ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	153	118	―
原動機台取付ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	153	118	―
据付面基礎ボルト	S20C	50*1	241	391	241	180	139	―
原動機フレーム	SS400	95*2	223	374	223	―	―	257
主回路用端子箱取付ボルト	SS400	100*2	221	373	221	165	127	―
スペースヒータ用端子箱取付ボルト	SS400	100*2	221	373	221	165	127	―
エンドカバー取付ボルト	SS400	50*1	241	394	241	180	139	―

注記　＊1：周囲環境温度
　　＊2：最高使用温度

(3)　動的機能維持評価における許容限界

動的機能維持評価における許容限界は，設計荷重により原動機フレームが変形する場合においてもディーゼル発電機用海水ポンプの運転継続が可能であるように，軸受の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。

軸受の接触面圧の許容荷重を表3-10に示す。

表3-10　軸受の接触面圧の許容荷重

評価対象部位	許容荷重 (N)
原動機上部軸受部	[redacted]
原動機下部軸受部	[redacted]

3.5　評価方法

(1)　衝突評価の評価方法

ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot v^{2}}{1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2)　構造強度評価及び動的機能維持評価の評価方法

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

a.　計算モデル

(a)　構造強度評価

計算モデルは 1 質点系モデルとし，ポンプ部は全高の 1/2 の位置に，原動機部は風圧力による荷重の作用中心と同等，あるいはより高い重心作用位置に複合荷重が作用することとする。また，設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。ポンプ部及び原動機部の応力の計算モデル図を図 3-5 及び図 3-6 に示す。

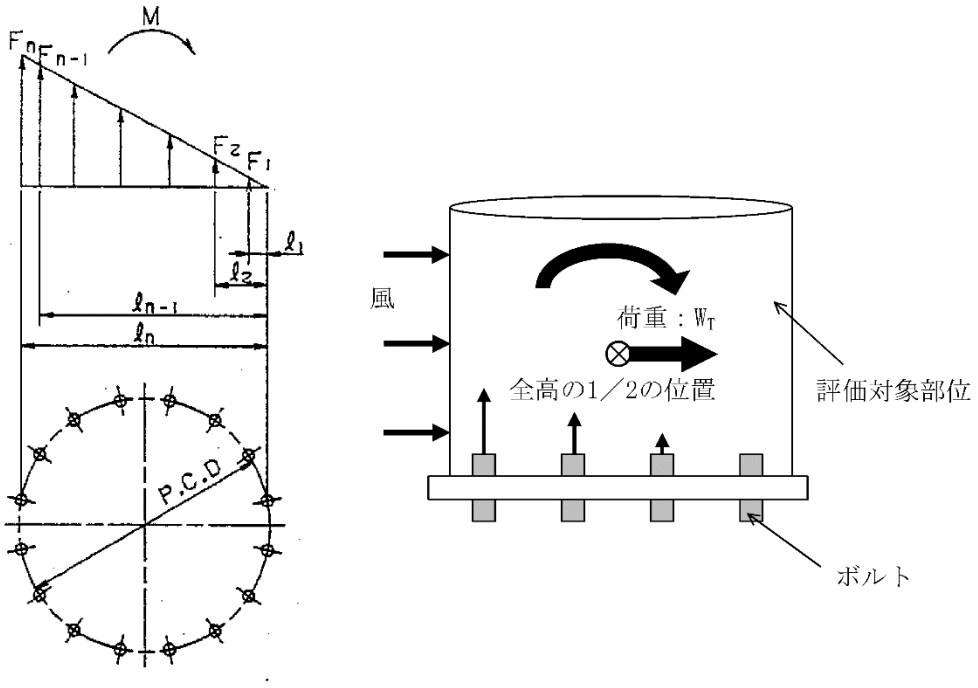


図 3-5　応力の計算モデル図（ポンプ部）

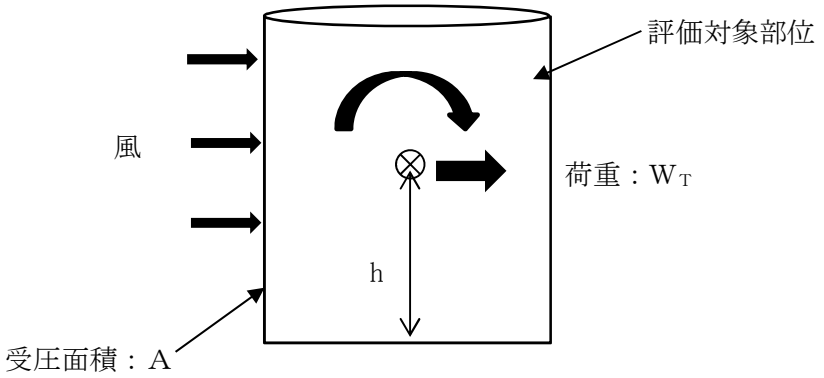


図 3-6　応力の計算モデル図（原動機部）

(b)　動的機能維持評価

動的機能維持評価の際の原動機フレームのたわみ量計算において，ポンプ据付面から原動機台上端まで（ポンプ部）と，原動機台上端から原動機まで（原動機部）の片持ち梁と考え，違う断面性能の一軸中空形モデルで，荷重が全高の半分の位置に作用することとする。ポンプ部の断面性能は原動機台が最も小さいことから，原動機台の断面性能を一様に有する単純円筒形モデルとして評価する。原動機部については原動機フレームの断面性能を用いて評価する。たわみ量計算モデル図を図3-7に示す。

ポンプ据付面より上部の静止体(原動機フレーム等)は,水平方向の複合荷重により,ポンプ据付面を固定端として一方向に変形する。一方,回転体(ポンプ軸及び原動機軸)は，風荷重を受けないため，変形せず，原動機上部から鉛直方向に吊り下げられた状態を維持する。原動機フレーム等の変形により，軸受反力が許容荷重を超えないことを確認する。

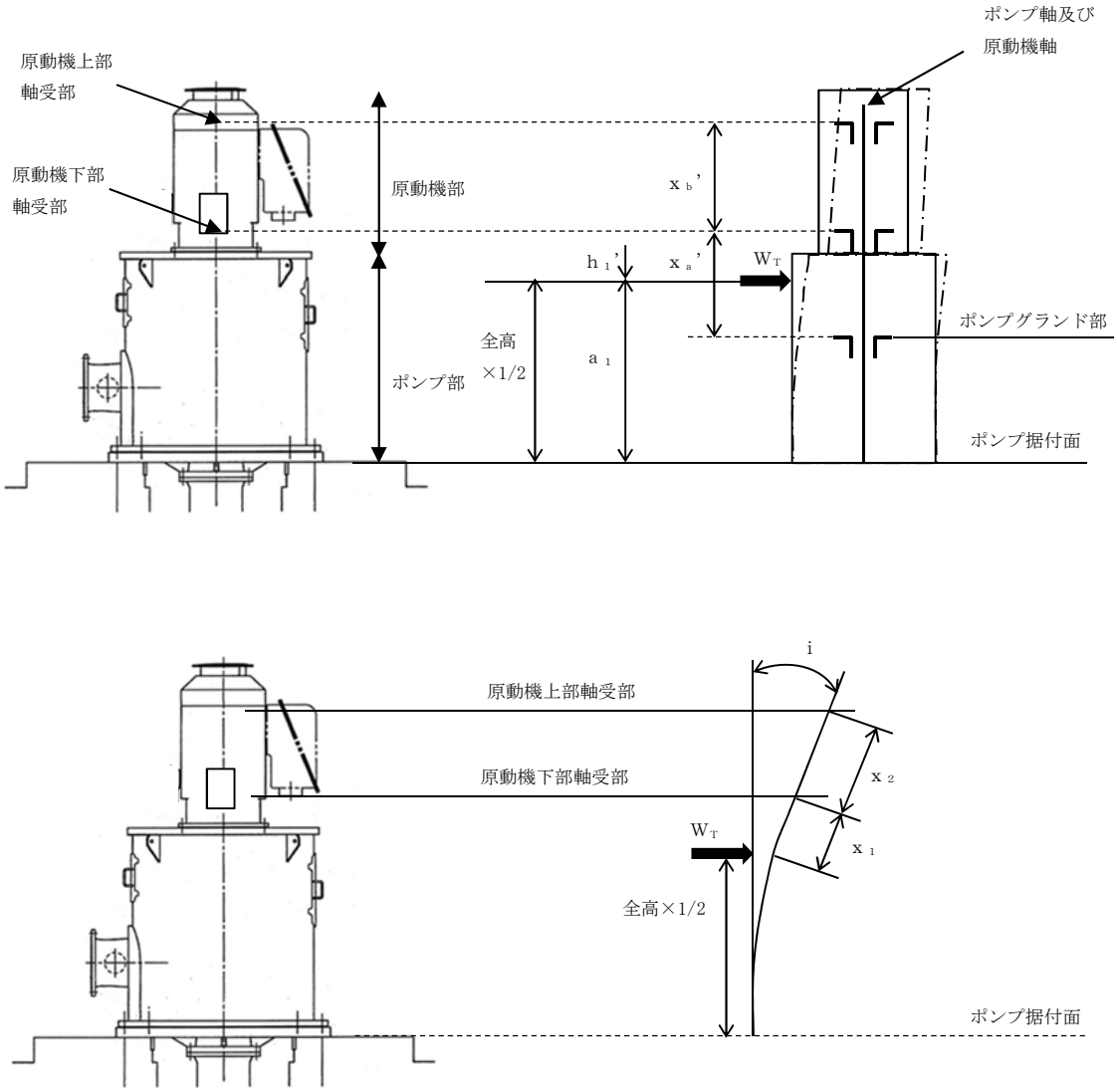


図 3-7　ディーゼル発電機用海水ポンプのたわみ量計算モデル図

b.　計算方法

(a)　応力の算出

イ.　ポンプ部（ボルト部）

原動機取付ボルト，原動機台取付ボルト及び据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図を図 3-8～図 3-10 に示す。

（イ）　風による転倒モーメントM

$M = W_T$・全高／2

（ロ）　引張応力σ_{bt}

$$M = 2\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot L_i \quad \cdots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i}=\text{一定}\quad\cdots(3.2)$$

(3.1)(3.2)式より,

$$F_n=\frac{M}{2\sum_{i=1}^{n}L_i^{\,2}}L_n$$

よって,

$$\sigma_{bt}=\frac{F_n}{A_b}$$

(ハ) せん断応力 τ

$$\tau=\frac{W_T}{A_b\cdot N}$$

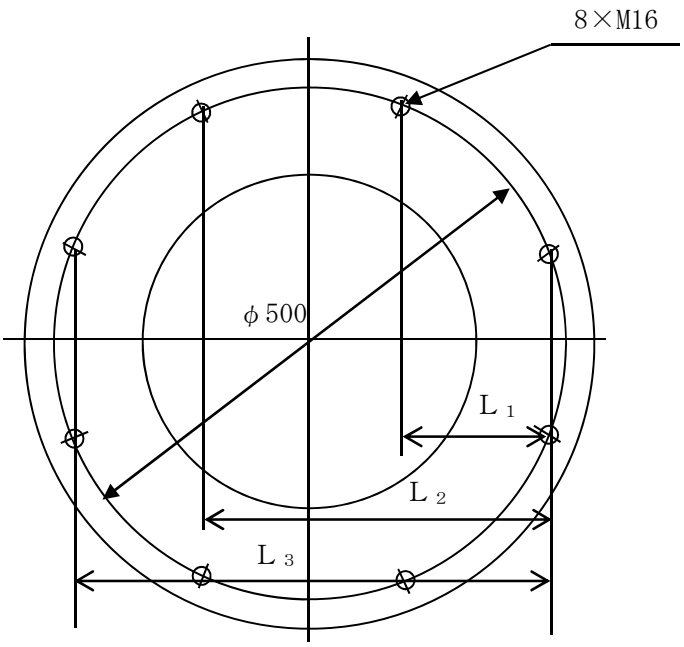


図 3-8　原動機取付ボルトの各ボルト間寸法の配置図

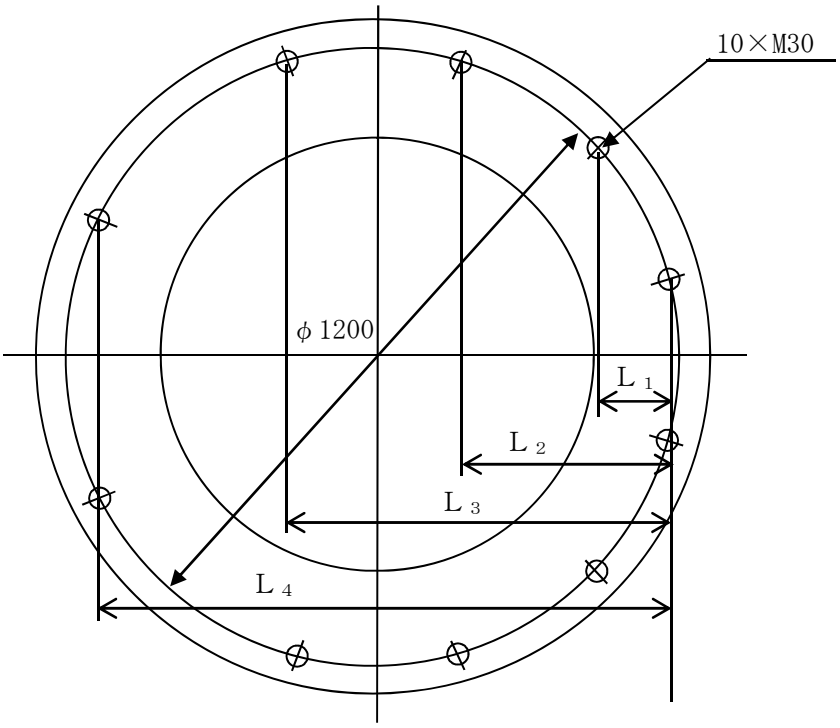


図 3-9　原動機台取付ボルトの各ボルト間寸法の配置図

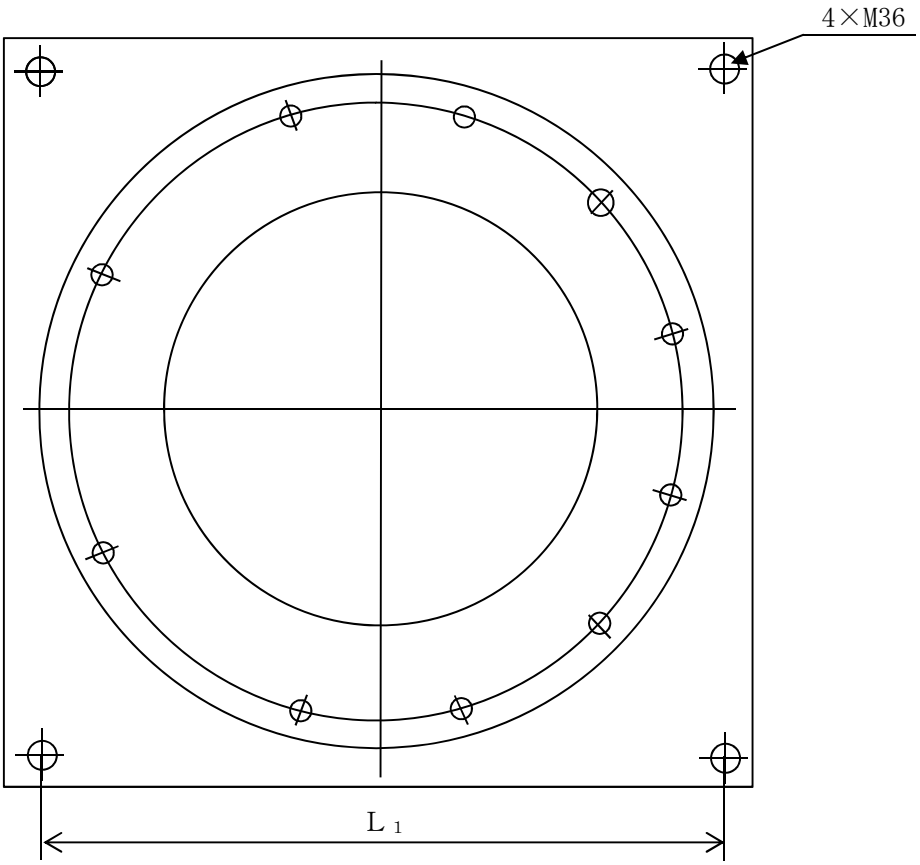


図 3-10　据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図

ロ． 原動機部

原動機フレーム，主回路用端子箱ボルト部，スペースヒータ用端子箱ボルト部，エンドカバー取付ボルト部の詳細図を図3-11～図3-14に示す。

（イ） 原動機フレーム

原動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

・曲げ応力

（ⅰ） 風による転倒モーメントM

$M = W_T \cdot h$

（ⅱ） 曲げ応力σ

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi \left(D^4 - d^4 \right)}{32 \cdot D}$$

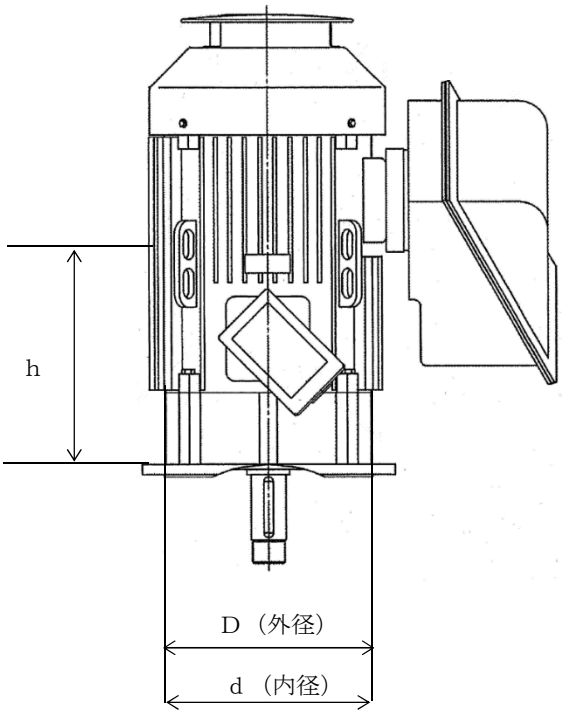


図 3-11 原動機フレーム詳細図

（ロ） 主回路用端子箱ボルト部，スペースヒータ用端子箱ボルト部

主回路用端子箱ボルト部，スペースヒータ用端子箱ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・引張応力

（ⅰ） 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h + H \cdot L_H$$

（ⅱ） 引張応力 σ_{bt}

$$F_b = \frac{M}{L_1 \cdot N}$$

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b}$$

（ⅲ） せん断応力 τ

$$\tau = \frac{F_H}{A_b \cdot N}$$

ここで,

$$F_H = \sqrt{W_T{}^2 + H^2}$$

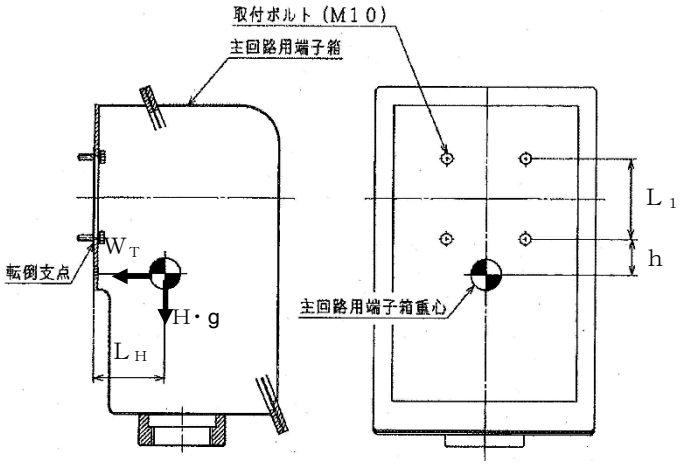


図 3-12　主回路用端子箱ボルト部詳細図

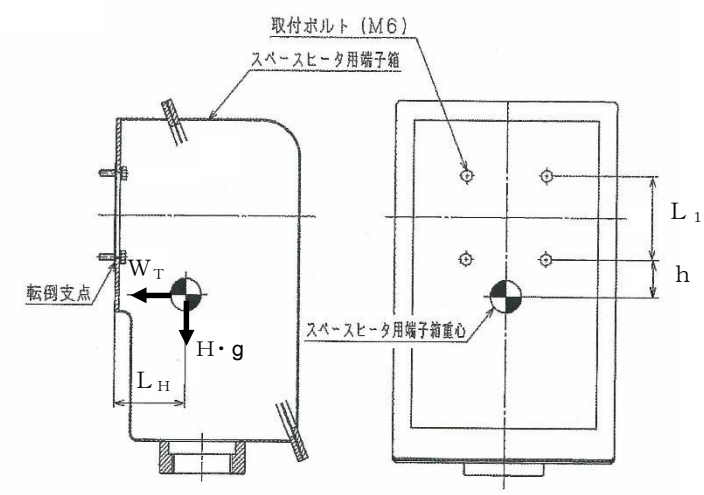


図 3-13　スペースヒータ用端子箱ボルト部詳細図

（ハ） エンドカバー取付ボルト部

エンドカバー取付ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・引張応力

竜巻によって生じる転倒荷重が，エンドカバーの上端（評価上厳しい条件）に作用した際の，エンドカバー取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

（ⅰ） 風による転倒モーメントM

$$M=W_T \cdot h_u$$

（ⅱ） 引張応力σ_{bt}

$$M=2\sum_{i=1}^{n}F_i \cdot L_i \quad \cdots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i}=\text{一定} \quad \cdots (3.2)$$

(3.1)（3.2）式より，

$$F_n=\frac{M}{2\sum_{i=1}^{n}L_i^{\,2}}L_n$$

よって，

$$\sigma_{bt}=\frac{F_n}{A_b}$$

（ⅲ） せん断応力τ

$$\tau=\frac{W_T}{A_b \cdot N}$$

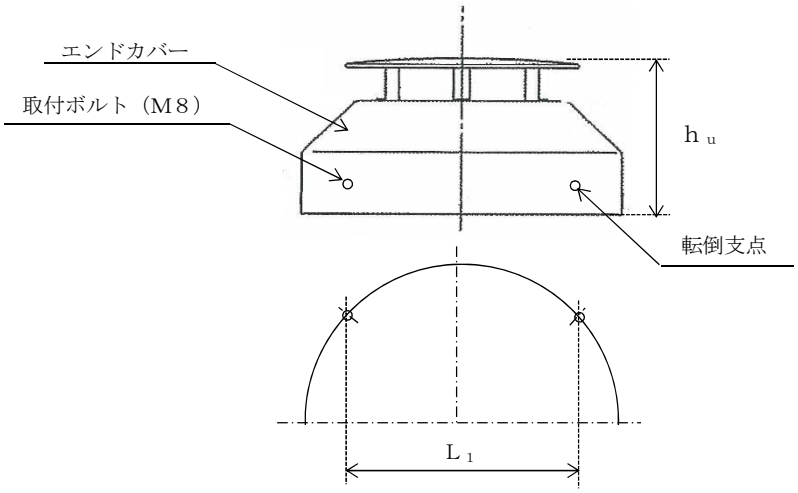


図 3-14　エンドカバー取付ボルト部詳細図

(b)　発生荷重の計算

イ．　たわみ量の計算

たわみ量の算出において，竜巻による風圧力を受ける面（原動機台，原動機フレーム，主回路用端子箱，エンドカバー）のそれぞれのW_{T2}の合計を複合荷重W’とする。

スペースヒータ用端子箱は原動機フレームと受圧面積が重なるため，荷重算出において考慮しない。

$W' = \Sigma W_{T2}$

各部位の受圧部図を図3-15～図3-18に示す

（単位：mm）

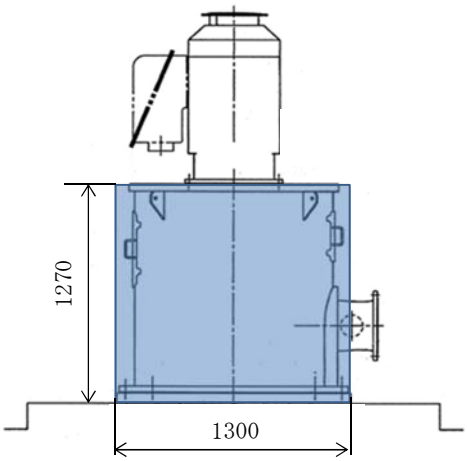


図3-15　原動機台の受圧部図

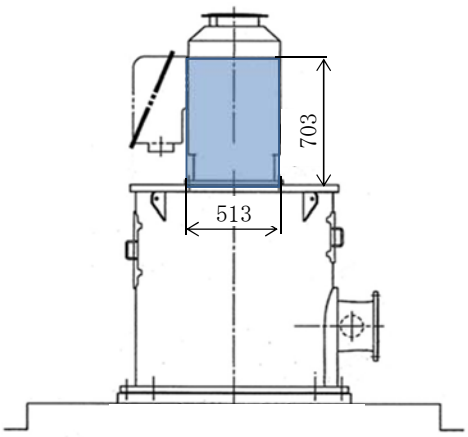


図3-16　原動機フレームの受圧部図

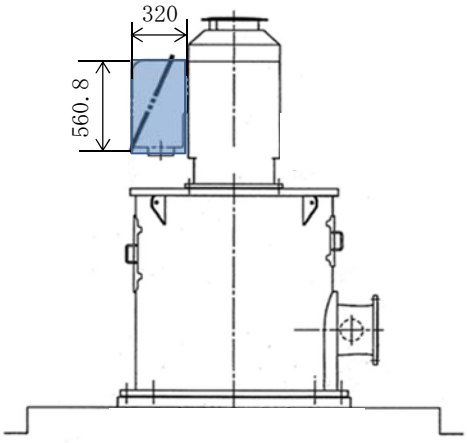


図3-17　主回路用端子箱の受圧部図

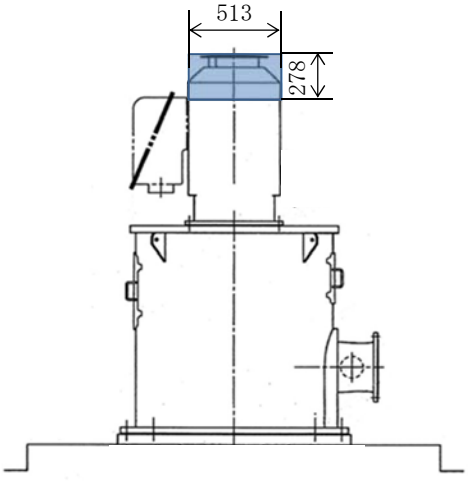


図3-18　エンドカバーの受圧部図

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量yと傾斜iを算出する。なお，荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

ミオソテスの方法

$$y=\frac{M\cdot a^2}{2\cdot E\cdot I}+\frac{W'\cdot a^3}{3\cdot E\cdot I}$$

$$i=\frac{M\cdot a}{E\cdot I}+\frac{W'\cdot a^2}{2\cdot E\cdot I}$$

$$M=W'\cdot h'$$

（イ） 原動機下部軸受部

・ポンプ据付面から荷重作用点のたわみ量y_1，傾斜i_1

$$y_1=\frac{M_a\cdot a_1^{\,2}}{2\cdot E_p\cdot I_p}+\frac{W'\cdot a_1^{\,3}}{3\cdot E_p\cdot I_p}$$

$$i_1=\frac{M_a\cdot a_1}{E_p\cdot I_p}+\frac{W'\cdot a_1^{\,2}}{2\cdot E_p\cdot I_p}$$

$$M_a=W'\cdot h_1'$$

ここで，原動機台の断面図を図3-19に示す。

（単位：mm）

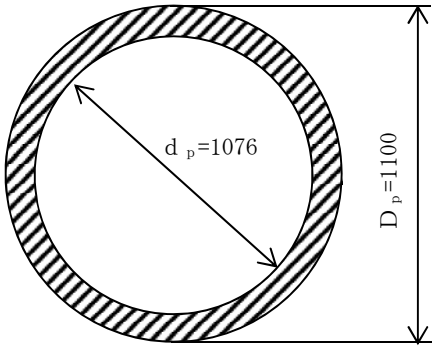


図3-19　原動機台の断面図

円筒形であるため，断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_p=\frac{\pi\ (D_p^{\,4}-d_p^{\,4})}{64}$$

・荷重作用点から原動機下部軸受部のたわみ量y_2

$y_2=x_1\cdot\sin(i_1)$

以上より，原動機下部軸受部のたわみ量は

$y_a=y_1+y_2$

（ロ） 原動機上部軸受部

・原動機下部軸受部から原動機上部軸受部のたわみ量y_3

$y_3 = x_2 \cdot \sin(i_1)$

以上より，原動機上部軸受部のたわみ量は

$y_b = y_a + y_3$

ロ． 発生荷重の算出

軸受部において，フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し，発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重W”は次式より計算する。

δ＝評価対象部位の変位量 － 支点の変位量

また，発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x'^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'^3}$$

（イ） 原動機下部軸受部の発生荷重

$$W'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_a}{x_a'^3}$$

ここで，$\delta_a = y_a$

回転子（原動機部）の断面図を図3-20に示す。

（単位：mm）

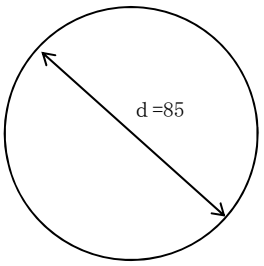


図3-20 回転子（原動機部）の断面図

回転子の断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m' = \frac{\pi d^4}{64}$$

（ロ） 原動機上部軸受部の発生荷重

$$W'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_b}{x_b'^3}$$

ここで，$\delta_b = y_b - y_a$

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-8 に示す。

表 4-1 評価条件

q (N/m^2)	G (-)	ΔP (N/m^2)	W_M (N)
6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

表 4-2 評価条件（原動機取付ボルト）

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m^2)
135.3	326.6	461.9	1.2	0.981	1.138

ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm^2)
M16	8	201.1

表 4-3 評価条件（原動機台取付ボルト）

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	C (-)	全高 (m)
155.3	424.3	734.8	1099.2	1.2	2.251

A (m^2)	ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm^2)
2.789	M30	10	706.9

表 4-4 評価条件（据付面基礎ボルト）

L_1 (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m^2)	ボルト サイズ	N (-)
1200	1.2	2.251	2.789	M36	4

A_b (mm^2)
1018

表 4-5　評価条件（原動機フレーム）

C (-)	h (mm)	A (m^2)	D (mm)	d (mm)
1.2	490.5	1.138	449	425

表 4-6　評価条件（主回路用端子箱取付ボルト）

C (-)	A (m^2)	ボルト サイズ	A_b (mm^2)	m (kg)	g (m/s^2)
2.4	0.2019	M10	78.54	25	9.80665

N* (-)	h (mm)	L_H (mm)	L_1 (mm)
4(2)	57.5	109.3	130

注記　＊：( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-7　評価条件（スペースヒータ用端子箱取付ボルト）

C (-)	A (m^2)	ボルト サイズ	A_b (mm^2)	m (kg)	g (m/s^2)
2.4	0.0360	M6	28.27	3.6	9.80665

N* (-)	h (mm)	L_H (mm)	L_1 (mm)
4(2)	3.8	57.3	80

注記　＊：( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-8　評価条件（エンドカバー取付ボルト）

C (-)	A (m^2)	ボルト サイズ	A_b (mm^2)	N (-)	L_1 (mm)
1.2	0.1426	M8	50.27	4	362.7

h (mm)
278

(2) 動的機能維持評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-9～表 4-13 に示す。

表 4-9 評価条件（たわみ量の算出）

原動機台の 風力係数 C (-)	原動機フレームの 風力係数 C (-)	主回路用端子箱の 風力係数 C (-)	エンドカバーの 風力係数 C (-)
1.2	1.2	2.4	1.2

原動機台の 受圧面積 A (m^2)	原動機フレームの 受圧面積 A (m^2)	主回路用端子箱の 受圧面積 A (m^2)	エンドカバーの 受圧面積 A (m^2)
1.651	0.3606	0.1795	0.1426

表 4-10 評価条件（原動機下部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (℃)	q (N/m^2)	G (-)	ΔP (N/m^2)	W_M (N)
SS400	50	6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

h_1' (mm)	a_1 (mm)	E_p (MPa)	I_p (mm^4)	x_1 (mm)	y_a (mm)
0	1126	201000	6.070×10^9	242.5	0.01485

表 4-11 評価条件（原動機下部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算モデルの材質	温度 (℃)	E_m' (MPa)	I_m' (mm^4)	x_a' (mm)
S45C	50	200000	2.562×10^6	640.5

表 4-12　評価条件（原動機上部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (℃)	q (N/m^2)	G (-)	ΔP (N/m^2)	W_M (N)
SS400	50	6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

x_2 (mm)	y_b (mm)
669.5	0.02486

表 4-13　評価条件（原動機上部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算モデルの材質	温度 (℃)	E_m' (MPa)	I_m' (mm^4)	x_b' (mm)
S45C	50	200000	2.562×10^6	669.5

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)とディーゼル発電機用海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは，ディーゼル発電機用海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ未満である。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果（砂利）

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
ディーゼル発電機用海水ポンプ	2.3（主回路用端子箱，スペースヒータ用端子箱）	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原動機取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

原動機取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-3 評価結果（原動機取付ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	23	153
せん断	9	118
組合せ	23	153

b. 原動機台取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

原動機台取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-4　評価結果（原動機台取付ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	15	153
せん断	5	118
組合せ	15	153

c. 据付面基礎ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

据付面基礎ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-5　評価結果（据付面基礎ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	16	180
せん断	9	139
組合せ	16	180

d. 原動機フレーム

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6 に示す。

原動機フレームに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-6　評価結果（原動機フレーム）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	4	257

e. 主回路用端子箱取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-7 に示す。

主回路用端子箱取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-7　評価結果（主回路用端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	13	165
せん断	13	127
組合せ	13	165

f. スペースヒータ用端子箱取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-8 に示す。

スペースヒータ用端子箱取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-8　評価結果（スペースヒータ用端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	2	165
せん断	7	127
組合せ	2	165

g. エンドカバー取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-9 に示す。

エンドカバー取付ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-9　評価結果（エンドカバー取付ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	13	180
せん断	9	139
組合せ	13	180

(3) 動的機能維持評価結果

a. 原動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-10 に示す。

原動機下部軸受部の発生荷重は，許容荷重以下である。

表 5-10 評価結果（原動機下部軸受部）

発生荷重W” (N)	許容荷重 (N)
87	[redacted]

b. 原動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-11 に示す。

原動機上部軸受部の発生荷重は，許容荷重以下である。

表 5-11 評価結果（原動機上部軸受部）

発生荷重W” (N)	許容荷重 (N)
52	[redacted]

Ⅴ-3-別添 1-1-7　ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 2
2.4 適用規格 4
3. 強度評価方法 5
3.1 記号の定義 5
3.2 評価対象部位 6
3.3 荷重及び荷重の組合せ 7
3.4 許容限界 9
3.5 評価方法 11
4. 評価条件 13
5. 強度評価結果 14

1. 概要

本資料は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ（以下「ディーゼル発電機用海水ストレーナ」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても，海水中の固形物を除去する機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナについて，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，ディーゼル発電機用海水ストレーナの「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

ディーゼル発電機用海水ストレーナは，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外の海水ポンプ室に設置する。

海水ポンプ室の位置図を図2-1に示す。

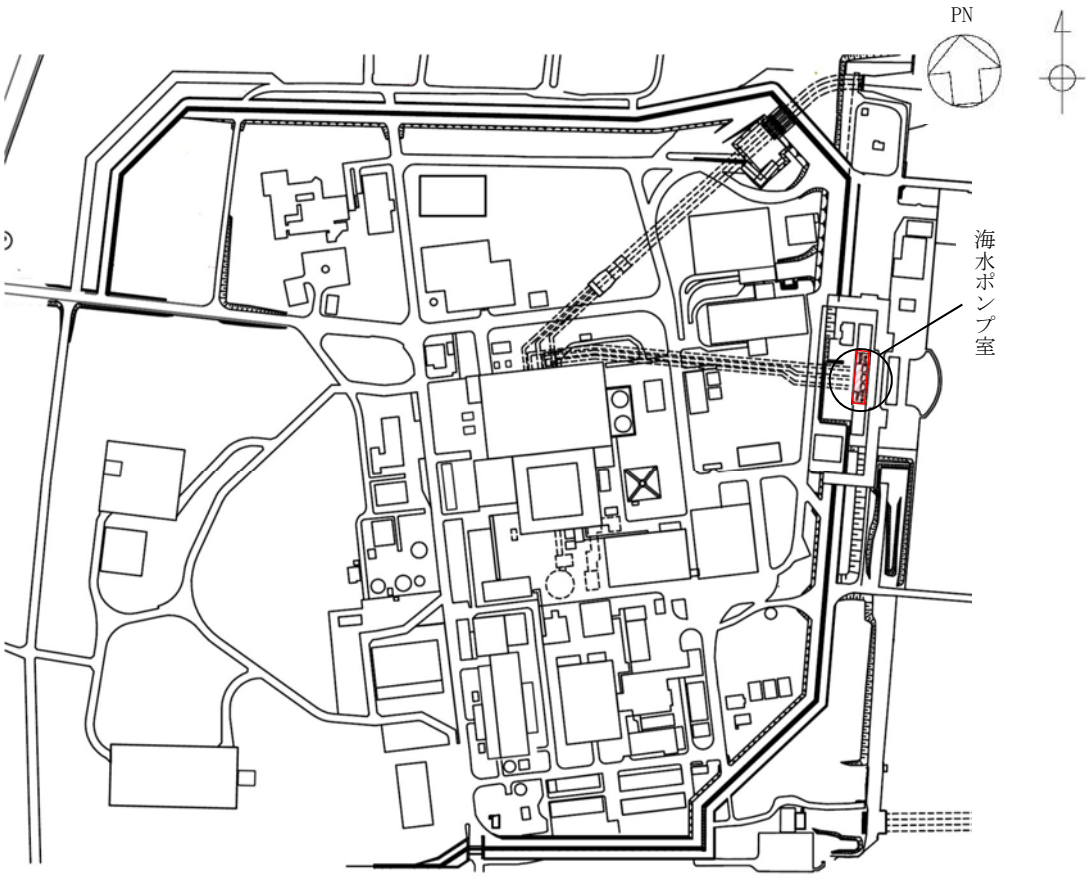


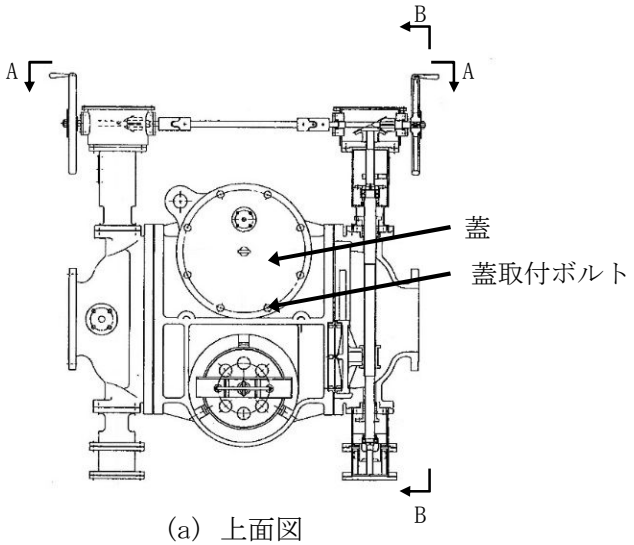
図 2-1　海水ポンプ室の位置図

2.2　構造概要

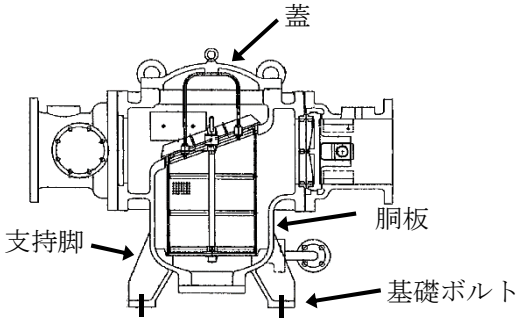
ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造について，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナは胴板と支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を並べて組み合わせた構造であり，支持脚が基礎ボルトで固定されている。ストレーナの上部開口には蓋が設置されており，同一設計のディーゼル発電機用海水ストレーナを3台設置している。

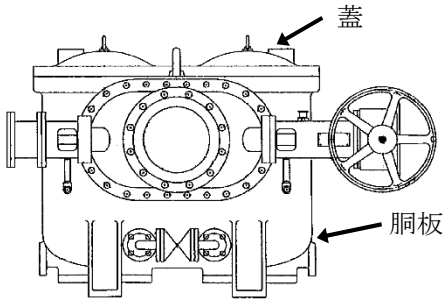
ディーゼル発電機用海水ストレーナの概要図を図2-2に示す。



(a) 上面図



(b) 側面図（A-A 矢視）



(c) 側面図（B-B 矢視）

図2-2　ディーゼル発電機用海水ストレーナ概要図

2.3　評価方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が，許容限界に収まることを「3. 強度評価

方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

(1) 衝突評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては，防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価における許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

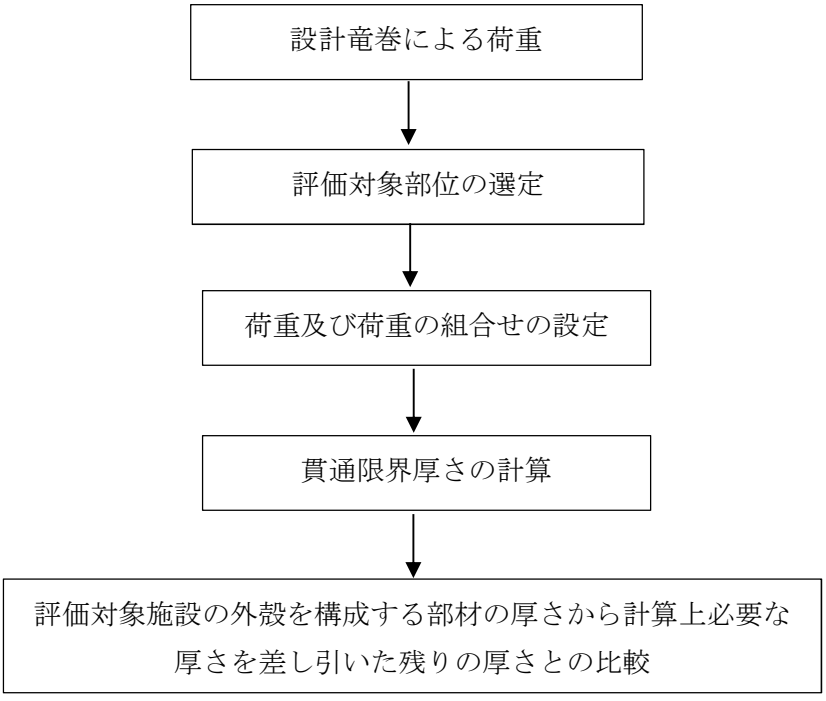


図2-3 ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造強度評価フローを図2-4に示す。構造強度評価においては，ディーゼル発電機用海水ストレーナに対して，設計竜巻による荷重に自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価において，その部材に対

して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の構造強度評価には，設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓとする。

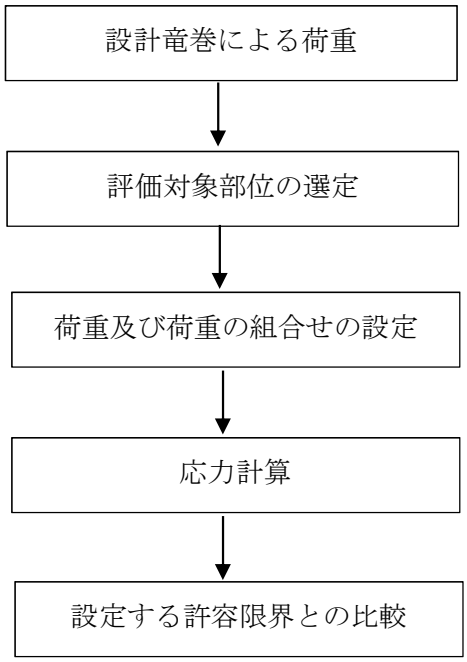


図2-4　ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・「タービンミサイル評価について」（昭和52年7月20日　原子炉安全専門審査会）
・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（社）日本電気協会
・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ＪＳＭＥ Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 衝突評価の記号の定義

ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
D_i	mm	胴の内径
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	－	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
P	MPa	最高使用圧力
S	MPa	許容引張応力
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
t	mm	胴の計算上必要な厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
η	－	継手効率

(2) 構造強度評価の記号の定義

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_b	mm^2	基礎ボルトの軸断面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
D_o	mm	ストレーナ幅（全幅）
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_b	N	基礎ボルトに対する引張力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	ストレーナ高さ（全高）

表3-2　強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
h	mm	ストレーナ重心高さ
L_1	mm	基礎ボルト間の水平距離
L_H	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	容器の有効運転質量*
N	－	基礎ボルトの本数
n_f	－	引張力を受ける基礎ボルトの本数
Q_b	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻による気圧差による荷重
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T1}=W_P$）
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$）
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
π	－	円周率
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

注記　＊：有効運転質量は，容器の満水時における質量とする。

3.2　評価対象部位

ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1)　衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により，ディーゼル発電機用海水ストレーナに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため，貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの全方向からの飛来物を考慮し，貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として胴板を選定する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

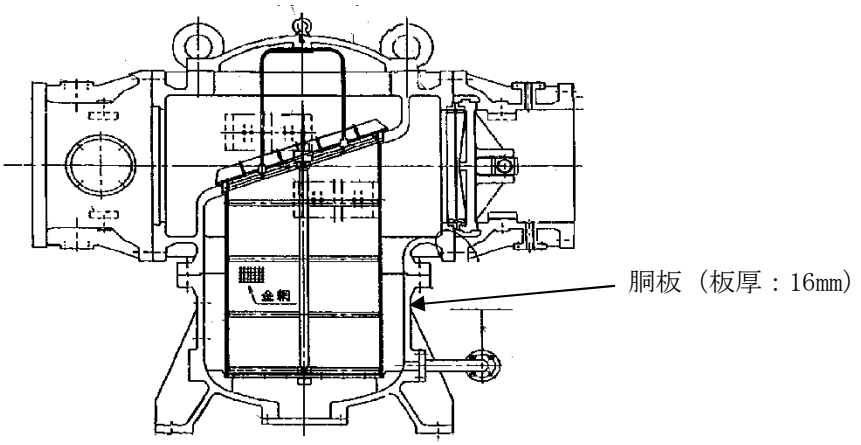


図3-1　ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価の評価対象部位

(2)　構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は，胴板及び支持脚を介して基礎ボルトに作用する。設計竜巻による荷重により発生する応力は，胴板及び支持脚と比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

なお，ストレーナ蓋はドーム型形状であること，かつ受圧面積も小さいため設計竜巻の影響は小さいことから，ストレーナ蓋取付ボルトは評価対象部位として選定しない。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造強度評価における評価対象部位を，図3-2に示す。

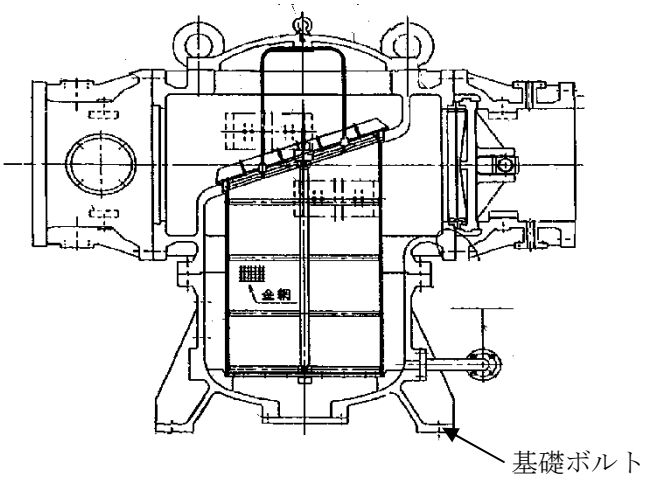


図3-2　ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造強度評価の評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として，防護ネット（ネットの網目寸法40(㎜)）をすり抜ける砂利を設定し，砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては，評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず，貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-3，ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価に用いる荷重を表3-4に示す。

表3-3　砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-4　ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	ディーゼル発電機用海水ストレーナ	胴板	飛来物による衝撃荷重

(2)　構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a.　荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

自重による荷重＝m・g

(a)　常時作用する荷重

常時作用する荷重として，持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

(b)　設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。また，防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で，衝突時間が極めて短く，衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから，機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ.　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い，算出する。

$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$

ロ．　気圧差による荷重(W_P)

気圧差による荷重W_Pは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(b) 気圧差による荷重」に示す式に従い，算出する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

ハ．　荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重W_T(W_{T1}, W_{T2})は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い，算出する。なお，評価対象部位は基礎ボルトであり，気圧差による荷重は発生しないため，複合荷重の選定において，W_{T2}としては気圧差を考慮するが，W_{T1}の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

(c)　運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重として，内包水の荷重を自重に含めて考慮する。

b.　荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ，ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位ごとに設定する。

構造強度評価の荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5　荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	ディーゼル発電機用海水ストレーナ	基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重

3.4　許容限界

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，ＪＥＡＧ４６０１に基づく許容応力状態III_AＳの許容応力の許容荷重を用いる。

(1)　衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は，評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し，外殻を構成する部材が，機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため，評価式により算定した貫通限界厚さがディーゼル発電機用海水ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

ディーゼル発電機用海水ストレーナにおける計算上必要な厚さは，ＪＳＭＥ　PVC-3120（胴の厚さの規定）に基づき，以下の式より算出する。

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

ディーゼル発電機用海水ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表3-6に示す。

表3-6　ディーゼル発電機用海水ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
ディーゼル発電機用海水ストレーナ	16	1.4	14.6

(2)　構造強度評価の許容限界

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス2,3支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態$\mathrm{III_A S}$から算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造強度評価における許容限界を表3-7，許容応力を表3-8に示す。

表3-7　ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
基礎ボルト	$\mathrm{III_A S}$	一次応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$\mathrm{Min}\{1.5 f_t,\ (2.1 f_t - 1.6\tau)\}$

表 3-8　ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造強度評価における許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5f_t$ (MPa)	$1.5f_s$ (MPa)
基礎ボルト	SS400	50*	231	394	231	173	133

注記　＊：周囲環境温度

3.5　評価方法

(1)　衝突評価の評価方法

ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot v^{2}}{1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2)　構造強度評価の評価方法

ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

a.　計算モデル

設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重，有効運転質量を考慮した荷重に対する，基礎ボルトの構造健全性を 1 質点系モデルとして計算を行う。ここで，荷重の作用点は評価上高さの 1/2 より高いストレーナの重心位置とする。ディーゼル発電機用海水ストレーナのモデル図を図 3-3 に示す。

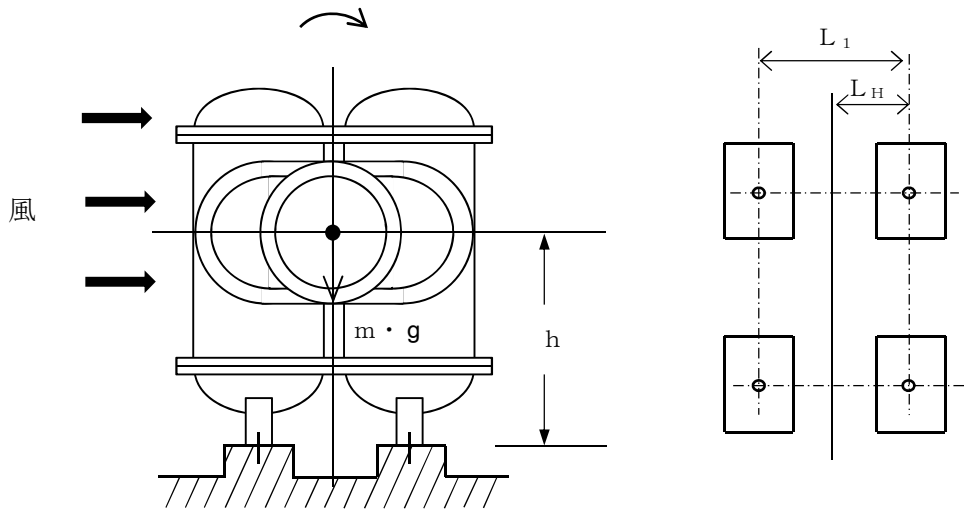


図 3-3　ディーゼル発電機用海水ストレーナモデル図

b.　計算方法

(a)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 3-3 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

イ．　引張力

$$F_b = \frac{W_{T2} \cdot h - m \cdot g \cdot L_H}{n_f \cdot L_1}$$

ロ．　引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

(b)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

イ．　せん断力

$$Q_b = W_{T2}$$

ロ．　せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1　評価条件

q (N/m^2)	G (-)	ΔP (N/m^2)	W_M (N)
6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

表 4-2　評価条件（胴板）

P (MPa)	D_i (mm)	S (MPa)	η (－)
0.70	430	108	1.0

表 4-3　評価条件（基礎ボルト）

L_H (mm)	L_1 (mm)	C (-)	D_0 (mm)	H (mm)	A (m^2)
270	540	2.4	1360	945	1.29

m (kg)	g (m/s^2)	ボルト サイズ	N (-)	n_f (-)	A_b (mm^2)
2050	9.80665	M20	4	2	314.2

h (mm)	W_{T2} (N)
600	24630

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)とディーゼル発電機用海水ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは，ディーゼル発電機用海水ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果（砂利）

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
ディーゼル発電機用海水ストレーナ	14.6	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

基礎ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-3 評価結果（基礎ボルト）

応力分類	複合荷重W_{T2}による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	28	173
せん断	20	133
組合せ	28	173

Ⅴ-3-別添 1-1-8　ディーゼル発電機吸気口の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 2
2.4 適用規格 3
3. 強度評価方法 4
3.1 記号の定義 4
3.2 評価対象部位 9
3.3 荷重及び荷重の組合せ 9
3.4 許容限界 10
3.5 評価方法 12
4. 評価条件 26
5. 強度評価結果 27

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口（以下「ディーゼル発電機吸気口」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても，吸気機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，ディーゼル発電機吸気口の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

ディーゼル発電機吸気口は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり，原子炉建屋付属棟屋上面に設置する。

ディーゼル発電機吸気口の位置図を図2-1に示す。

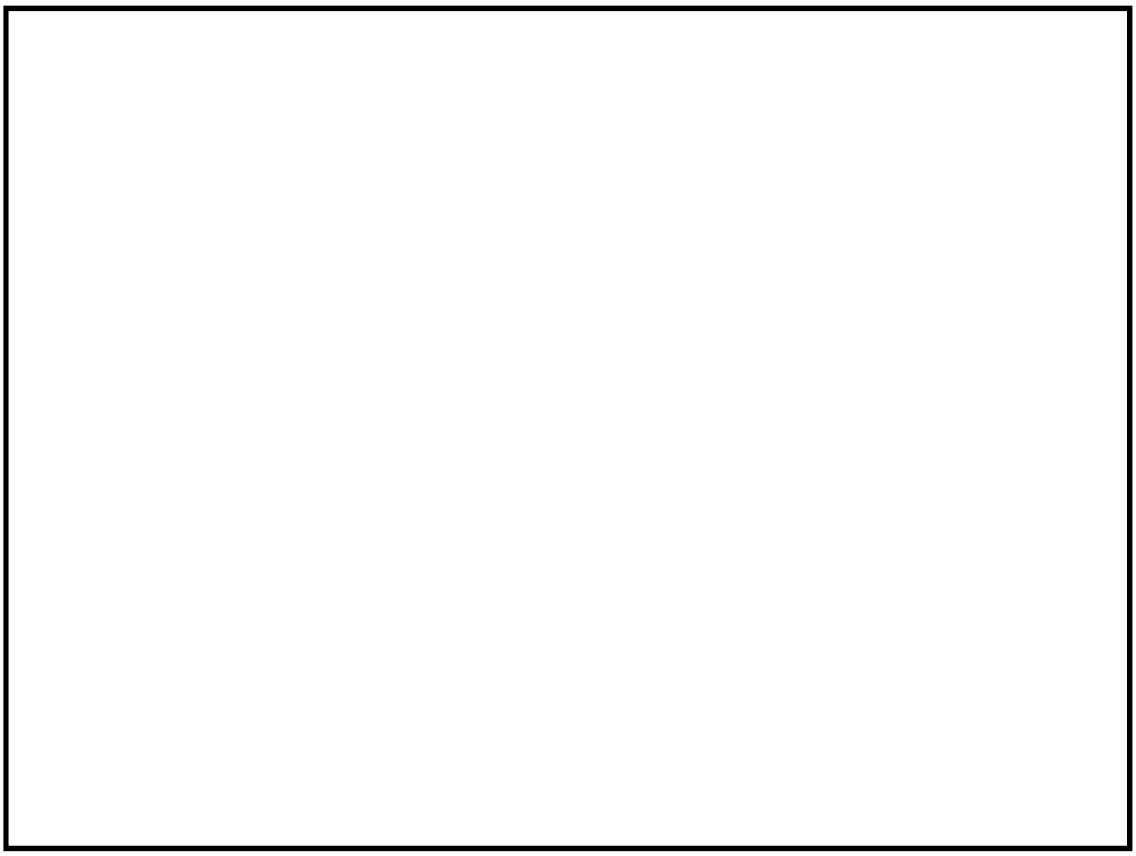


図 2-1　ディーゼル発電機吸気口の位置図

NT2 補② Ⅴ-3-別添 1-1-8 R5

2.2　構造概要

ディーゼル発電機吸気口について，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

ディーゼル発電機吸気口は，ディーゼル発電機1基につき2台設置しており，計6台の同一設計の吸気口を設置している。

ディーゼル発電機吸気口の構造は4脚たて置円筒型容器構造であり，胴板と支持脚は溶接で接合しており，支持脚は基礎部に溶接により固定している。

ディーゼル発電機吸気口の概要図を図2-2に示す。

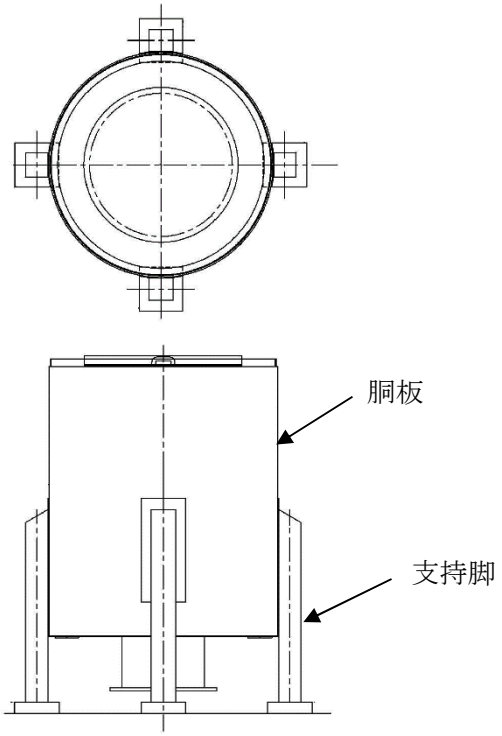


図2-2　ディーゼル発電機吸気口の概要図

2.3　評価方針

ディーゼル発電機吸気口の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，ディーゼル発電機吸気口の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機吸気口の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

ディーゼル発電機吸気口の構造強度評価フローを図2-3に示す。ディーゼル発電機吸気口に対して，設計竜巻による荷重に自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において，その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たること

を想定する。各部材の構造強度評価には，設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

ディーゼル発電機吸気口の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$\mathrm{Ⅲ_A}$Ｓとする。

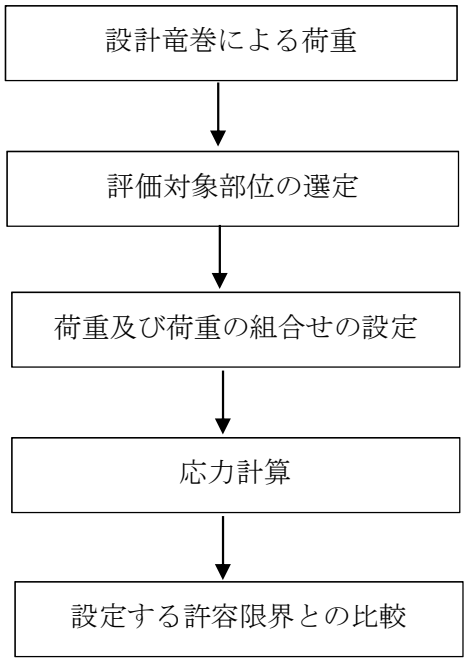


図2-3 ディーゼル発電機吸気口の構造強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（社）日本電気協会
- 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ１-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）
- 「新版機械工学便覧」（1987年4月日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

ディーゼル発電機吸気口の構造強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 構造強度評価に用いる記号（1/5）

記号	単位	定義
A	mm^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_s	mm^2	脚の断面積
A_{sr}	mm^2	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積
A_{st}	mm^2	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積
A_w	mm^2	支持脚基礎溶接部の有効面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C_1	mm	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の周方向)
C_2	mm	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の軸方向)
C_c, C_L	－	応力の補正係数
D_i	mm	胴の内径
E	MPa	胴の縦弾性係数
E_s	MPa	脚の縦弾性係数
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_0	N	振動モデル系における水平力
f_c	MPa	脚の許容圧縮応力
f_{br}	MPa	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力
f_{bt}	MPa	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力
f_s	MPa	脚の許容せん断応力
f_t	MPa	脚の許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
G_s	MPa	脚のせん断弾性係数
g	m/s^2	重力加速度
H	m	ディーゼル発電機吸気口高さ
I	mm^4	胴の断面 2 次モーメント
I_{sr}	mm^4	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント
I_{st}	mm^4	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント
J_s	mm^4	脚のねじりモーメント係数
K_c	－	脚の胴つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数

表3-1　構造強度評価に用いる記号（2/5）

記号	単位	定義
K_L	－	胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数
K_r	－	胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数
k_L	－	アタッチメントパラメータ軸方向の補正係数
k_c	－	アタッチメントパラメータ周方向の補正係数
L	mm	脚の長さ
L_1	mm	支持脚間水平距離
L_c	mm	脚の中立軸間の距離
L_g	mm	基礎から容器上部重心までの距離
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
M_1	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント
M_3	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部のねじりモーメント
M_c	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向モーメント（圧縮側）
M_L	N・mm	運転時質量による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント（引張側）
M_x	N・mm	胴に生じる軸方向の曲げモーメント
M_ϕ	N・mm	胴に生じる周方向の曲げモーメント
m_0	kg	運転時質量
N_x	N/mm	胴に生じる軸方向の膜力
N_ϕ	N/mm	胴に生じる周方向の膜力
P	N	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
P_1	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
Q	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向荷重
Q_1	N	支持脚に作用するせん断荷重
q	N/m^2	設計用速度圧
R	N	運転時質量による脚の軸力
R_1	N	風荷重(Z方向)により脚に作用する軸力
r_m	mm	胴の平均半径
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張強さ
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	胴の板厚
T	N	支持脚に作用する引張荷重
u	mm	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離
W_1	N	風荷重
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T1}=W_P$）

表3-1　構造強度評価に用いる記号（3/5）

記号	単位	定義
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重（$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$）
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
Z_{sr}	mm^3	脚の半径方向軸に対する断面係数
Z_{st}	mm^3	脚の周方向軸に対する断面係数
β，β_1，β_2 β_c，β_L	－	アタッチメントパラメータ
γ	－	シェルパラメータ
ΔP	N/m^2	気圧差
Δ_r	mm	運転時質量による胴の半径方向局部変位量
Δ_{r1}	mm	水平力F_0による胴の半径方向局部変位量
Δ_{x1}	mm	水平力F_0による第1脚上端の水平方向変位量
Δ_{x3}	mm	水平力F_0による第2脚上端の水平方向変位量
Δ_{y1}	mm	水平力F_0による第1脚の鉛直方向変位量
θ	rad	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角
θ_0	rad	水平力F_0による胴の中心軸の傾き角
θ_1	rad	水平力F_0による第1脚の傾き角（圧縮側）
θ_2	rad	水平力F_0による胴の第1脚つけ根部における局部傾き角
θ_3	rad	水平力F_0による第2脚の傾き角
π	－	円周率
ρ	－	比重
σ	MPa	支持脚基礎溶接部の組合せ応力
σ_0	MPa	胴の一次一般膜応力の最大値
$\sigma_{0\phi}$	MPa	胴の周方向一次一般膜応力
σ_{0x}	MPa	胴の軸方向一次一般膜応力
σ_1	MPa	胴の一次応力の最大値
σ_2	MPa	胴の一次＋二次応力の最大値
σ_{11} ～σ_{14}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力
σ_{15}，σ_{16}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力
σ_{21} ～σ_{24}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力
σ_{25}，σ_{26}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力
σ_s	MPa	脚の組合せ応力の最大値
σ_t	MPa	支持脚基礎溶接部に生じる引張応力
σ_{s1}，σ_{s2}	MPa	運転時質量による脚の圧縮応力，曲げ応力

表3-1　構造強度評価に用いる記号（4/5）

記号	単位	定義
σ_{s5} ～ σ_{s7}	MPa	風荷重（Z方向）による脚の圧縮応力,曲げ応力
σ_{s8} ～ σ_{s10}	MPa	風荷重（X方向）による脚の圧縮応力,曲げ応力
σ_{sc}	MPa	脚の圧縮応力の和
σ_{sr}	MPa	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{st}	MPa	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{sx}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の脚の組合せ応力
σ_{sz1}，σ_{sz2}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の脚の組合せ応力
σ_{x}	MPa	互いに直交する垂直応力
σ_{x1}	MPa	静水頭又は内圧による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi1}$	MPa	静水頭又は内圧による胴の周方向応力
σ_{x2}	MPa	運転時質量による胴の軸方向応力
σ_{x3}	MPa	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi3}$	MPa	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x4}	MPa	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi4}$	MPa	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力
σ_{x5}	MPa	応力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力
σ_{x61}，σ_{x62}	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi61}$，$\sigma_{\phi62}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力
σ_{x71}，σ_{x72}	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi71}$，$\sigma_{\phi72}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x81}，σ_{x82}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi81}$，$\sigma_{\phi82}$	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x91}，σ_{x92}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi91}$，$\sigma_{\phi92}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力
σ_{x101}，σ_{x102}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力

表3-1　構造強度評価に用いる記号（5/5）

記号	単位	定義
$\sigma_{\phi 101}$，$\sigma_{\phi 102}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x111}，σ_{x112}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 111}$，$\sigma_{\phi 112}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{xx1}，σ_{xx2}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和
σ_{xx3}，σ_{xx4}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の軸方向一次＋二次応力の和
σ_{xz1} ～ σ_{xz4}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和
σ_{xz5} ～ σ_{xz8}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の軸方向一次＋二次応力の和
σ_{y}	MPa	互いに直交する垂直応力
$\sigma_{\phi x1}$，$\sigma_{\phi x2}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の周方向一次応力の和
$\sigma_{\phi x3}$，$\sigma_{\phi x4}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の周方向一次＋二次応力の和
$\sigma_{\phi z1}$ ～ $\sigma_{\phi z4}$	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次応力の和
$\sigma_{\phi z5}$ ～ $\sigma_{\phi z8}$	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次＋二次応力の和
τ	MPa	支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力
τ_{3}	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力
τ_{6}	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力
τ_{c1}	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力
τ_{c4}	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力
τ_{L1}	MPa	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{L2}	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{L5}	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{xy}	MPa	σ_{x}，σ_{y}の作用する面内のせん断応力

3.2　評価対象部位

ディーゼル発電機吸気口の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計竜巻による荷重は，ディーゼル発電機吸気口の胴板に作用し，支持脚及び支持脚基礎溶接部に伝達される。

このことから，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部を評価対象部位として設定する。

ディーゼル発電機吸気口の構造強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。

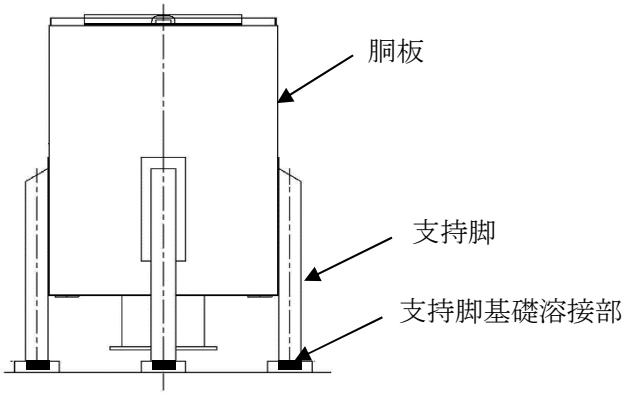


図3-1　ディーゼル発電機吸気口の構造強度評価の評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重

常時作用する荷重として，持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

自重による荷重＝m・g

b.　設計竜巻による荷重

風圧力による荷重，気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重を考慮する。

(a)　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い，算出する。

$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$

(b)　気圧差による荷重(W_P)

気圧差による荷重W_Pは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(b) 気圧差による荷重」に示す式に従い，算出する。

$W_P = \Delta P \cdot A$

(c) 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重W_T(W_{T1},W_{T2})は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い，算出する。なお，ディーゼル発電機吸気口は気圧差が生じ難い構造であるため，複合荷重の選定において，W_{T2}としては気圧差を考慮するが，W_{T1}の評価は実施しない。また，ディーゼル発電機吸気口は，設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても，閉塞することがなく，ディーゼル発電機の吸気機能は維持され，かつ速やかに補修する方針とするため，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

$W_{T1} = W_P$

$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$

(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ，ディーゼル発電機吸気口の評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電機吸気口の胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部には，自重及び風圧力，気圧差による荷重が作用する。

構造強度評価の荷重の組合せを表3-2に示す。

表 3-2　荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	ディーゼル発電機吸気口	・胴板 ・支持脚 ・支持脚基礎溶接部	①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重

3.4 許容限界

ディーゼル発電機吸気口の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，ＪＥＡＧ４６０１に基づく許容応力状態III_AＳの許容応力の許容荷重を用いる。

ディーゼル発電機吸気口の許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，胴板については「クラス2，3容器」，支持脚及び支持脚基礎溶接部については「クラス2，3支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態III_AＳから算出した許容応力を許容限界とする。また，座屈については評価式を満足することを確認する。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5，6の表にて許容応力を計算する際は，評価対象部位の最高使用温度又は周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合

は，比例法を用いて計算する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5，6の表で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機吸気口の許容限界を表3-3，許容応力を表3-4に示す。

表 3-3　ディーゼル発電機吸気口の許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
胴板	ⅢＡＳ	一次一般膜		Min（S_y，$0.6S_u$）
		一次		上欄の1.5倍
		一次＋二次		$2S_y$
支持脚	ⅢＡＳ	組合せ		$1.5f_t$
		座屈		$\sigma_{sr}/f_{br}+\sigma_{st}/f_{bt}+\sigma_{sc}/f_c \leqq 1$
支持脚 基礎溶接部	ⅢＡＳ	一次	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$

支持脚については，圧縮，曲げの組合せ応力の最大値を求め，引張応力の許容値で評価する。

また，溶接部について上記応力の組合せが考えられる場合，ＪＳＭＥ SSB－3121.1(6)，SSB－3121.2を準用し，組合せ応力に対しても評価を行う。

以下に組合せ応力の許容応力の評価式を示す。

垂直応力とせん断応力を生じる構造部分の応力は，次の計算式を満足しなければならない。

$$1.5f_t \geq \sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2-\sigma_x \cdot \sigma_y+3\tau_{xy}^2}$$

表 3-4　ディーゼル発電機吸気口の許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5f_t$ (MPa)	$1.5f_s$ (MPa)
胴板	SS400	50*	241	394	－	－	－
支持脚	SS400	50*	241	394	241	241	－
支持脚基礎溶接部	SS400	50*	241	394	241	241	139

注記　＊：周囲環境温度

3.5　評価方法

ディーゼル発電機吸気口の構造強度評価は，添付書類「V-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

評価式は，ＪＥＡＧ４６０１の 4 脚たて置き円筒型容器に準拠するが，ＪＥＡＧ４６０１の参考文献の範囲に含まれない箇所については，解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を用いて，3 次元ＦＥＭモデルによりモデル化し評価を実施する。

なお，評価に用いた解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」の検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「V-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

(1)　計算モデル

設計竜巻による荷重及び自重に対する，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部の構造強度を 1 質点系モデルとして評価を行う。ここで，荷重の作用点はディーゼル発電機吸気口高さの 1/2 より高い重心位置に作用させる。ディーゼル発電機吸気口胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部の評価モデル図を図 3-2 に，ディーゼル発電機吸気口の変形モード図を図 3-3 に示す。

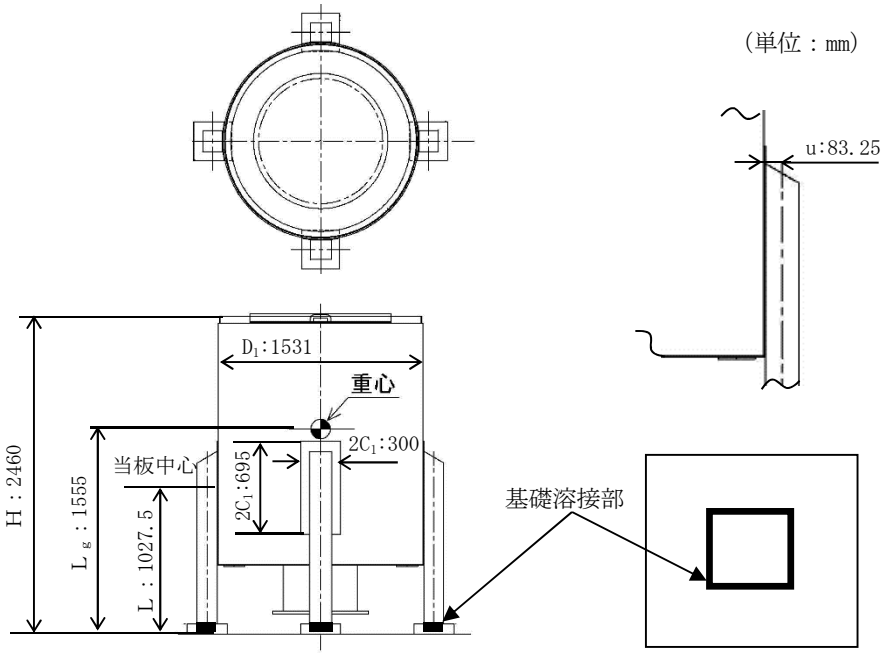


図 3-2　ディーゼル発電機吸気口の評価モデル図

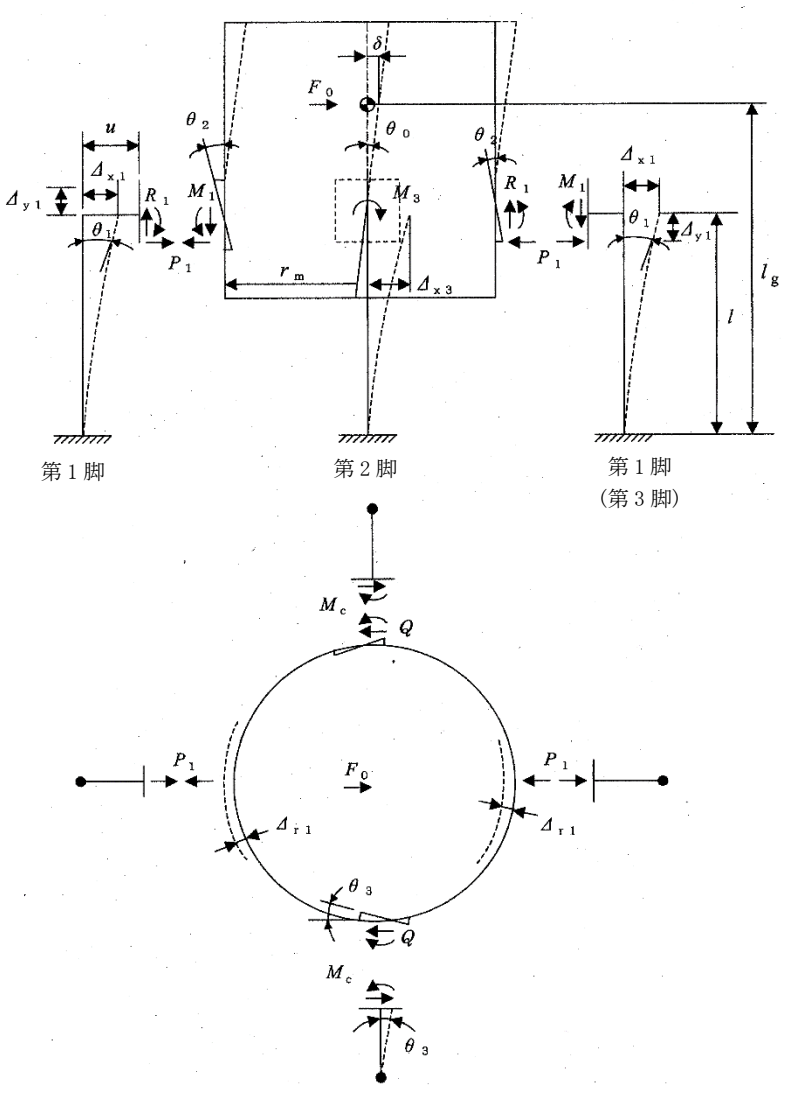


図 3-3　ディーゼル発電機吸気口の変形モード図

(2) 計算方法

a. 荷重の設定

水平力の釣合より

$$2P_1 + 2Q = F_0$$

転倒モーメントの釣合より

$$2M_1 - 2M_3 + 2R_1 \cdot r_m = F_0(L_g - L)$$

ただし，

$$r_m = (D_i + t)/2$$

第1脚の水平方向変位量 Δ_{x1}，傾き角 θ_1，鉛直方向変位量 Δ_{y1}は次による。

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

ここで，

$$u = \frac{L_c}{2} - r_m$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s}$$

胴の半径方向局部変位量Δ_{r1}と局部傾き角 θ_2は次による。

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E}$$

$$\theta_2 = \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

ここで，β_Lは次による。

$$\beta_L = k_L \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

第2脚の傾き角 θ_0と水平方向変位量 Δ_{x3}は，次による。

$$\theta_0 = -\frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{st}} - \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

第1脚と胴の傾き角の釣合より

$$\theta_1+\theta_2-\theta_0=0$$

第2脚のねじり角と局部傾き角は等しいことから

$$\theta_3=\frac{(Q\cdot u-M_c)L}{G_s\cdot J_s}=\frac{K_c\cdot M_c}{r_m{}^3\cdot \beta_c{}^2\cdot E}$$

ここで，β_cは次による。

$$\beta_c=k_c\sqrt[3]{\beta_1{}^2\cdot \beta_2}$$

$$\beta_1=\frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2=\frac{C_2}{r_m}$$

脚と胴の水平方向変位の釣合より

$$\Delta_{x1}+\Delta_{r1}=\Delta_{x3}+u\cdot\theta_3$$

さらに鉛直方向変位の釣合より

$$\Delta_{y1}-u\cdot\theta_1-r_m\cdot\theta_0=0$$

式を代入して，

$$\frac{R_1\cdot L}{A_s\cdot E_s}-\frac{u(M_1-R_1\cdot u)L}{E_s\cdot I_{st}}-\frac{u\cdot P_1\cdot L^2}{2E_s\cdot I_{st}}+\frac{r_m\cdot M_3\cdot L}{E_s\cdot I_{sr}}-\frac{r_m\cdot Q\cdot L^2}{2E_s\cdot I_{sr}}=0$$

式を代入して

$$\frac{(M_1-R_1\cdot u)L}{E_s\cdot I_{st}}+\frac{P_1\cdot L^2}{2E_s\cdot I_{st}}+\frac{K_L\cdot M_1}{r_m{}^3\cdot \beta_1{}^2\cdot E}+\frac{M_3\cdot L}{E_s\cdot I_{sr}}-\frac{Q\cdot L^2}{2E_s\cdot I_{sr}}=0$$

式を変形して

$$\frac{u\cdot Q\cdot L}{G_s\cdot J_s}-\frac{M_c\cdot L}{G_s\cdot J_s}-\frac{K_c\cdot M_c}{r_m{}^3\cdot \beta_c{}^2\cdot E}=0$$

式を代入して

$$\frac{P_1\cdot L^3}{3E_s\cdot I_{st}}+\frac{P_1\cdot L}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{(M_1-R_1\cdot u)L^2}{2E_s\cdot I_{st}}+\frac{K_r\cdot P_1}{r_m\cdot E}$$
$$-\frac{Q\cdot L^3}{3E_s\cdot I_{sr}}-\frac{Q\cdot L}{G_s\cdot A_{st}}+\frac{M_3\cdot L^2}{2E_s\cdot I_{sr}}-\frac{u\cdot K_c\cdot M_c}{r_m{}^3\cdot \beta_c{}^2\cdot E}=0$$

したがって，6 変数P_1，Q，R_1，M_1，M_3，M_cに対して上記式を連立させることにより方程式ができる。

b. 胴の応力計算

(a) 静水頭又は内圧による応力

ディーゼル発電機吸気口に静水頭，内圧は発生しないため，$\sigma_{\phi 1}$及びσ_{x1}は 0 となる。

(b) 運転時質量による応力

$$\sigma_{x2}=\frac{m_0\cdot g}{\pi\ (D_i+t)\ t}$$

(c) 運転時質量による胴の脚つけ根部の応力

脚下端が固定の場合，軸力Rは次による。

$$R=\frac{m_0\cdot g}{4}$$

脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形を図 3-3 に示す。

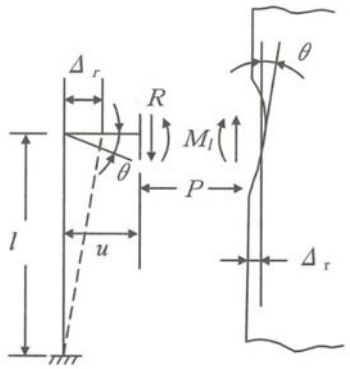


図 3-3　脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形

脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいことから

$$\Delta_r=\frac{-P\cdot L^3}{3\cdot E_s\cdot I_{st}}+\frac{-P\cdot L}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{(R\cdot u-M_L)L^2}{2E_s\cdot I_{st}}=\frac{K_r\cdot P}{r_m\cdot E}$$

また，脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta=\frac{(R\cdot u-M_L)L}{E_s\cdot I_{st}}-\frac{P\cdot L^2}{2E_s\cdot I_{st}}=\frac{K_L\cdot M_L}{r_m^{\,3}\cdot \beta_L^{\,2}\cdot E}$$

したがって

$$M_L = \frac{\left(\frac{L^3}{12E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}\right)\frac{m_0 \cdot g \cdot u \cdot L}{4E_s \cdot I_{st}}}{\left(\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E}\right)\left(\frac{L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}\right) - \left(\frac{L^2}{2E_s \cdot I_{st}}\right)^2}$$

$$P = \frac{\frac{\frac{m_0 \cdot g}{4}u - M_L}{2E_s \cdot I_{st}}L^2}{\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}}$$

鉛直方向モーメントM_Lにより生じる胴の局部応力は，図 3-4 に示す 3 次元ＦＥＭモデルより求める(以下*を付記する)ことにより算定する。

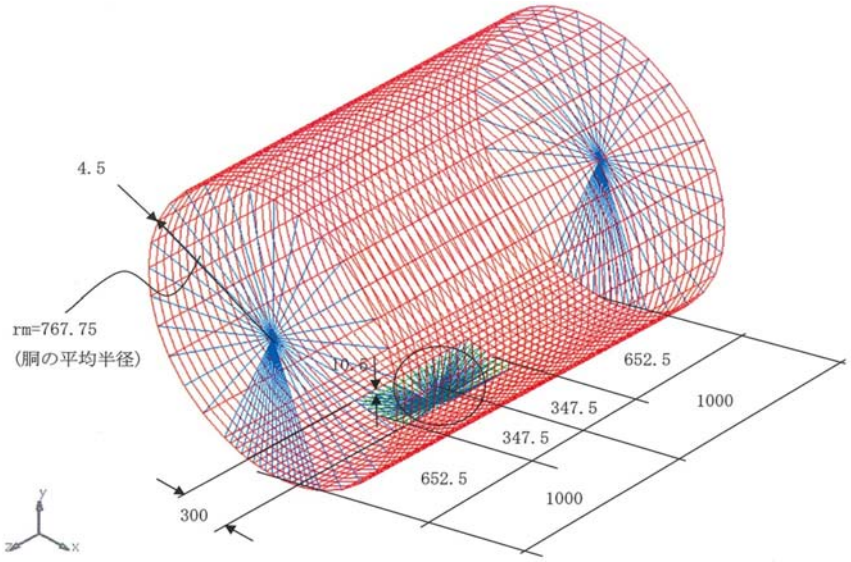


図 3-4　3 次元ＦＥＭモデル図

$$\sigma_{\phi 3} = \left[\frac{N_\phi}{M_L/(r_m^2 \cdot \beta)}\right]^* \left(\frac{M_L}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L}\right) C_L^*$$

$$\sigma_{x3} = \left[\frac{N_x}{M_L/(r_m^2 \cdot \beta)}\right]^* \left(\frac{M_L}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L}\right) C_L^*$$

半径方向荷重Ｐにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 4}=\left[\frac{N_{\phi}}{P/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P}{r_m\cdot t}\right)$$

$$\sigma_{x 4}=\left[\frac{N_{x}}{P/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P}{r_m\cdot t}\right)$$

反力Ｒによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L 1}=\frac{R}{4C_2\cdot t}$$

(d)　風荷重による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x 5}=\frac{W_1(L_g-L)(D_i+2t)}{2I}$$

(e)　Ｚ方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

イ．　一次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 6 1}=\left[\frac{N_{\phi}}{P_1/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P_1}{r_m\cdot t}\right)$$

$$\sigma_{x6 1}=\left[\frac{N_{x}}{P_1/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P_1}{r_m\cdot t}\right)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 7 1}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_1/(r_m^{2}\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_1}{r_m^{2}\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L^{*}$$

$$\sigma_{x 7 1}=\left[\frac{N_{x}}{M_1/(r_m^{2}\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_1}{r_m^{2}\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L^{*}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 8 1}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_c/(r_m^{2}\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_c}{r_m^{2}\cdot t\cdot\beta_c}\right)C_c^{*}$$

$$\sigma_{x 8 1}=\left[\frac{N_{x}}{M_c/(r_m^{2}\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_c}{r_m^{2}\cdot t\cdot\beta_c}\right)C_c^{*}$$

ここで，β_cは次による。

$$\beta_c=\sqrt[3]{\beta_1^{2}\cdot\beta_2}$$

周方向せん断力Qによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{c1}=\frac{Q}{4C_1\cdot t}$$

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L2}=\frac{R_1}{4C_2\cdot t}$$

ねじりモーメントM_3により生じる胴の局部せん断応力は，次による。

$$\tau_3=\frac{M_3}{2\pi\cdot C_1^{2}\cdot t}$$

ロ．　二次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 62}=\left[\frac{M_\phi}{P_1}\right]^{*}\left(\frac{6P_1}{t^2}\right)$$

$$\sigma_{x62}=\left[\frac{M_x}{P_1}\right]^{*}\left(\frac{6P_1}{t^2}\right)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 72}=\left[\frac{M_\phi}{M_1/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_1}{r_m\cdot t^{2}\cdot\beta_L}\right)$$

$$\sigma_{x72}=\left[\frac{M_x}{M_1/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_1}{r_m\cdot t^{2}\cdot\beta_L}\right)$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 82}=\left[\frac{M_\phi}{M_c/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_c}{r_m\cdot t^{2}\cdot\beta_c}\right)$$

$$\sigma_{x82}=\left[\frac{M_x}{M_c/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_c}{r_m\cdot t^{2}\cdot\beta_c}\right)$$

(f)　X方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

イ．　一次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 91}=\sigma_{\phi 61}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x91}=\sigma_{x61}/\sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 101}=\sigma_{\phi 71}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x101}=\sigma_{x71}/\sqrt{2}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 111} = \sigma_{\phi 81} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 111} = \sigma_{x 81} / \sqrt{2}$$

周方向せん断力 Ｑによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L5} = \tau_{L2} / \sqrt{2}$$

ねじりモーメントM_3により生じる胴の局部せん断応力は，次による。

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2}$$

ロ． 二次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 92} = \sigma_{\phi 62} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 92} = \sigma_{x 62} / \sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 102} = \sigma_{\phi 72} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 102} = \sigma_{x 72} / \sqrt{2}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 112} = \sigma_{\phi 82} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 112} = \sigma_{x 82} / \sqrt{2}$$

(g) 組合せ応力

(a)～(f)項によって算出される脚つけ根部に生じる胴の応力は，次により組み合わせる。

イ． 一次一般膜応力

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 5}$$

$$\sigma_0 = \max\left[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}\right]$$

ロ．　一次応力（膜＋曲げ）

胴の評価点を図 3-5 に示す。

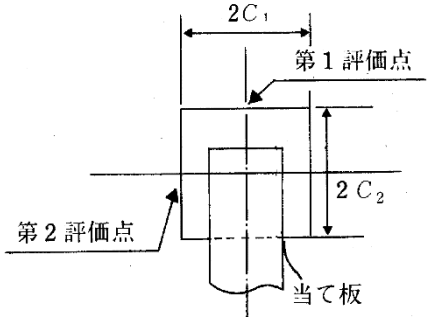


図 3-5　胴の評価点

（イ）　Z 方向荷重が作用した場合

・第 1 脚つけ根部

（第 1 評価点）

$$\sigma_{\phi z 1}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 71}$$

$$\sigma_{x z 1}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 3}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 61}+\sigma_{x 71}$$

$$\sigma_{11}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z 1}+\sigma_{x z 1})+\sqrt{(\sigma_{\phi z 1}-\sigma_{x z 1})^2}\right\}$$

（第 2 評価点）

$$\sigma_{\phi z 2}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 61}$$

$$\sigma_{x z 2}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 61}$$

$$\sigma_{12}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z 2}+\sigma_{x z 2})+\sqrt{(\sigma_{\phi z 2}-\sigma_{x z 2})^2+4(\tau_{L1}+\tau_{L2})^2}\right\}$$

・第 2 脚つけ根部

（第 1 評価点）

$$\sigma_{\phi z 3}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}$$

$$\sigma_{x z 3}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 3}+\sigma_{x 4}$$

$$\sigma_{13}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z 3}+\sigma_{x z 3})+\sqrt{(\sigma_{\phi z 3}-\sigma_{x z 3})^2+4(\tau_{c1}+\tau_3)^2}\right\}$$

（第 2 評価点）

$$\sigma_{\phi z 4}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 81}$$

$$\sigma_{xz4}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x81}$$

$$\sigma_{14}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z4}+\sigma_{xz4})+\sqrt{(\sigma_{\phi z4}-\sigma_{xz4})^2+4(\tau_{L1}+\tau_3)^2}\right\}$$

（ロ） X方向荷重が作用した場合

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi x1}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 101}$$

$$\sigma_{xx1}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x91}+\sigma_{x101}$$

$$\sigma_{15}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi x1}+\sigma_{xx1})+\sqrt{(\sigma_{\phi x1}-\sigma_{xx1})^2+4(\tau_{c4}+\tau_6)^2}\right\}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi x2}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 111}$$

$$\sigma_{xx2}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x91}+\sigma_{x111}$$

$$\sigma_{16}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi x2}+\sigma_{xx2})+\sqrt{(\sigma_{\phi x2}-\sigma_{xx2})^2+4(\tau_{L1}+\tau_{L5}+\tau_6)^2}\right\}$$

$$\sigma_1=\max[\sigma_{11},\ \sigma_{12},\ \sigma_{13},\ \sigma_{14},\ \sigma_{15},\ \sigma_{16}]$$

ハ. 組合せ一次＋二次応力

（イ） Z方向荷重が作用した場合

・第1脚つけ根部

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi z5}=\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 62}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72}$$

$$\sigma_{xz5}=\sigma_{x5}+\sigma_{x61}+\sigma_{x62}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72}$$

$$\sigma_{21}=\sigma_{\phi z5}+\sigma_{xz5}+\sqrt{(\sigma_{\phi z5}-\sigma_{xz5})^2}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi z6}=\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 62}$$

$$\sigma_{xz6}=\sigma_{x5}+\sigma_{x61}+\sigma_{x62}$$

$$\sigma_{22}=\sigma_{\phi z6}+\sigma_{xz6}+\sqrt{(\sigma_{\phi z6}-\sigma_{xz6})^2+4\tau_{L2}{}^2}$$

・第2脚つけ根部

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi z 7}=0$$

$$\sigma_{x z 7}=0$$

$$\sigma_{23}=\sigma_{\phi z 7}+\sigma_{x z 7}+\sqrt{(\sigma_{\phi z 7}-\sigma_{x z 7})^2+4(\tau_{c 1}+\tau_3)^2}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi z 8}=\sigma_{\phi 8 1}+\sigma_{\phi 8 2}$$

$$\sigma_{x z 8}=\sigma_{x 8 1}+\sigma_{x 8 2}$$

$$\sigma_{24}=\sigma_{\phi z 8}+\sigma_{x z 8}+\sqrt{(\sigma_{\phi z 8}-\sigma_{x z 8})^2+4\,\tau_3{}^2}$$

（ロ） X方向荷重が作用した場合

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi x 3}=\sigma_{\phi 9 1}+\sigma_{\phi 10 1}+\sigma_{\phi 9 2}+\sigma_{\phi 10 2}$$

$$\sigma_{x x 3}=\sigma_{x 5}+\sigma_{x 9 1}+\sigma_{x 10 1}+\sigma_{x 9 2}+\sigma_{x 10 2}$$

$$\sigma_{25}=\sigma_{\phi x 3}+\sigma_{x x 3}+\sqrt{(\sigma_{\phi x 3}-\sigma_{x x 3})^2+4(\tau_{c 4}+\tau_6)^2}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi x 4}=\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 9 1}+\sigma_{\phi 9 2}+\sigma_{\phi 11 1}+\sigma_{\phi 11 2}$$

$$\sigma_{x x 4}=\sigma_{x 5}+\sigma_{x 9 1}+\sigma_{x 9 2}+\sigma_{x 11 1}+\sigma_{x 11 2}$$

$$\sigma_{26}=\sigma_{\phi x 4}+\sigma_{x x 4}+\sqrt{(\sigma_{\phi x 4}-\sigma_{x x 4})^2+4(\tau_{L 5}+\tau_6)^2}$$

$$\sigma_2=\max\left[\sigma_{21},\ \sigma_{22},\ \sigma_{23},\ \sigma_{24},\ \sigma_{25},\ \sigma_{26}\right]$$

c. 脚の応力計算

(a) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s 1}=\frac{R}{A_s}$$

$$\sigma_{s 2}=\frac{\max\left[\left|R\cdot u-M_L-P\cdot L\right|,\left|R\cdot u-M_L\right|\right]}{Z_{s t}}$$

(b) 風荷重（Z方向）による応力

イ. 第1脚

$$\sigma_{s 5}=\frac{R_1}{A_s}$$

$$\sigma_{s 6}=\frac{\max\left[\left|R_1\cdot u-M_1-P_1\cdot L\right|,\left|R_1\cdot u-M_1\right|\right]}{Z_{s t}}$$

ロ．　第２脚

$$\sigma_{s7}=\frac{\max\left[\left|Q\cdot L-M_3\right|,\left|M_3\right|\right]}{Z_{sr}}$$

(c)　Ｘ方向荷重による応力

$$\sigma_{s8}=\frac{R_1}{\sqrt{2}\cdot A_s}$$

$$\sigma_{s9}=\frac{\max\left[\left|R_1\cdot u-M_1-P_1\cdot L\right|,\left|R_1\cdot u-M_1\right|\right]}{\sqrt{2}\cdot Z_{st}}$$

$$\sigma_{s10}=\frac{\max\left[\left|Q\cdot L-M_3\right|,\left|M_3\right|\right]}{\sqrt{2}\cdot Z_{sr}}$$

(d)　組合せ応力

脚の最大応力は，下記式による。

イ．　Ｚ方向荷重が作用した場合

（イ）　第１脚

$$\sigma_{sz1}=\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s5}+\sigma_{s6}$$

（ロ）　第２脚

$$\sigma_{sz2}=\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s7}$$

ロ．　Ｘ方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sx}=\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s8}+\sigma_{s9}+\sigma_{s10}$$

$$\sigma_s=\max\left[\sigma_{sz1},\ \sigma_{sz2},\ \sigma_{sx}\right]$$

(e)　組合せ圧縮応力

イ．　Ｚ方向荷重が作用した場合

（イ）　第１脚

$$\sigma_{sc}=\sigma_{s1}+\sigma_{s5}$$

$$\sigma_{st}=\sigma_{s2}+\sigma_{s6}$$

$$\sigma_{sr}=0$$

（ロ）　第２脚

$$\sigma_{sc}=\sigma_{s1}$$

$$\sigma_{st}=\sigma_{s2}$$

$$\sigma_{sr}=\sigma_{s7}$$

ロ．　Ｘ方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sc}=\sigma_{s1}+\sigma_{s8}$$
$$\sigma_{st}=\sigma_{s2}+\sigma_{s9}$$
$$\sigma_{sr}=\sigma_{s10}$$

圧縮と曲げの組合せについて，座屈評価用の式を次式より求める。

$$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}}+\frac{\sigma_{st}}{f_{bt}}+\frac{\sigma_{sc}}{f_{c}}\leqq 1$$

d. 支持脚基礎溶接部の応力計算

(a) 引張応力の算出

風圧力による荷重W_{T2}によるモーメントMにより，2本の支持脚には吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重Tが作用する。

モーメントの釣り合いを考えると，

$$M=W_{T2}\cdot L_{g}=2\cdot T\cdot L_{1}$$

よって吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重Tは以下のようになる。

$$T=\frac{W_{T2}\cdot L_{g}}{2L_{1}}$$

吸気口の支持脚基礎溶接部に生じる引張応力σ_{t}は以下のようになる。

$$\sigma_{t}=\frac{T}{A_{w}}=\frac{W_{T2}\cdot L_{g}}{2L_{1}\cdot A_{W}}$$

(b) せん断応力の算出

吸気口の支持脚基礎溶接部に作用するせん断荷重Qは以下のようになる。

$$Q_{1}=\frac{W_{T2}}{4}$$

よって，吸気口の支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力τは以下のようになる。

$$\tau=\frac{Q_{1}}{A_{W}}=\frac{W_{T2}}{4A_{w}}$$

(c) 組合せ応力の算出

$$\sigma=\sqrt{\sigma_{t}^{2}+3\tau^{2}}$$

4. 評価条件

「3.強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1　評価条件

q (N/m^2)	G (-)	C (-)	ΔP (N/m^2)	W_M (N)
6.1×10^3	1.0	1.2	8.9×10^3	0

表 4-2　評価条件

A (m^2)	A_s (mm^2)	A_w (mm^2)	A_{sr} (mm^2)	A_{st} (mm^2)	C_1 (mm)
4.526	8550	4455	4336	4728	150.0

C_2 (mm)	D_i (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	F_0 (N)	G_s (MPa)
347.5	1531	201000	201000	1	77300

g (m/s^2)	I (mm^4)	I_{sr} (mm^4)	I_{st} (mm^4)	J_s (mm^4)	L (mm)
9.80665	6.398×10^9	3.155×10^7	2.697×10^7	4.316×10^7	1027.5

L_1 (mm)	L_c (mm)	L_g (mm)	m_0 (kg)	r_m (mm)	t (mm)
1203.5	1702.0	1555.0	1800	767.8	4.5

W_W (N)	W_P (N)	W_{T2} (N)	Z_{sr} (mm^3)	Z_{st} (mm^3)
33130	40280	53270	3.824×10^5	3.569×10^5

5. 強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ディーゼル発電機吸気口に発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1　ディーゼル発電機吸気口の評価結果

評価部位	材料	応力		発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SS400	一次一般膜		5	236
		一次		24	354
		一次＋二次		66	482
支持脚	SS400	組合せ		31	241
		座屈（圧縮＋曲げ）*		0.13	1
支持脚基礎溶接部	SS400	一次	引張	8	241
			せん断	3	139
			組合せ	10	241

注記　＊：検定比（下式）による。

$$\sigma_{sr}/f_{br}+\sigma_{st}/f_{bt}+\sigma_{sc}/f_{c}\leqq 1$$

Ⅴ-3-別添 1-1-9　配管及び弁の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 3
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 7
3.3 荷重及び荷重の組合せ 8
3.4 許容限界 10
3.5 評価方法 12
4. 評価条件 15
5. 強度評価結果 16

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，屋外に設置している中央制御室換気系冷凍機周り，残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「ディーゼル発電機用海水ポンプ」という。）周りの配管及び弁並びに非常用ガス処理系排気筒（配管部含む。以下同じ。）が竜巻時及び竜巻通過後においても，各配管及び弁の機能維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

配管及び弁について，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，配管及び弁の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

屋外に設置している中央制御室換気系冷凍機周り，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管及び弁並びに非常用ガス処理系排気筒は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，図2-1に示す位置に設置する。

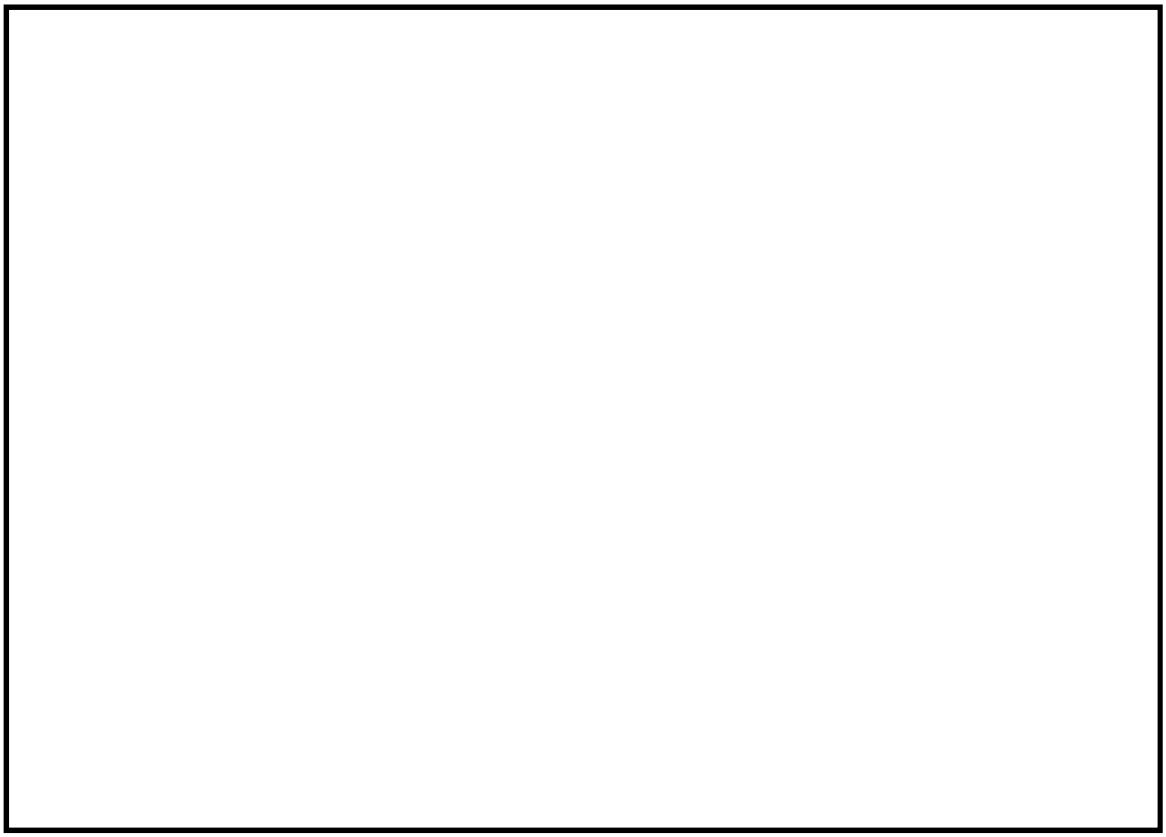


図 2-1　中央制御室換気系冷凍機周り，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管及び弁並びに非常用ガス処理系排気筒の位置図

NT2 補② Ⅴ-3-別添 1-1-9 R6

2.2　構造概要

配管及び弁について，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

配管及び弁は，　配管本体及び弁で構成され，支持構造物により床，壁等から支持する構造となる。配管及び弁の概要図を図2-2に，各エリアの配管及び弁の配置図を図2-3，図2-4に示す。

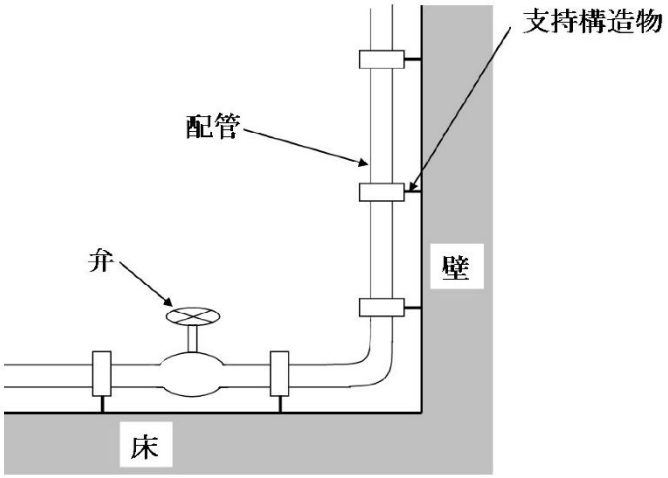


図2-2　配管及び弁の概要図

図2-3　残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り配管配置図

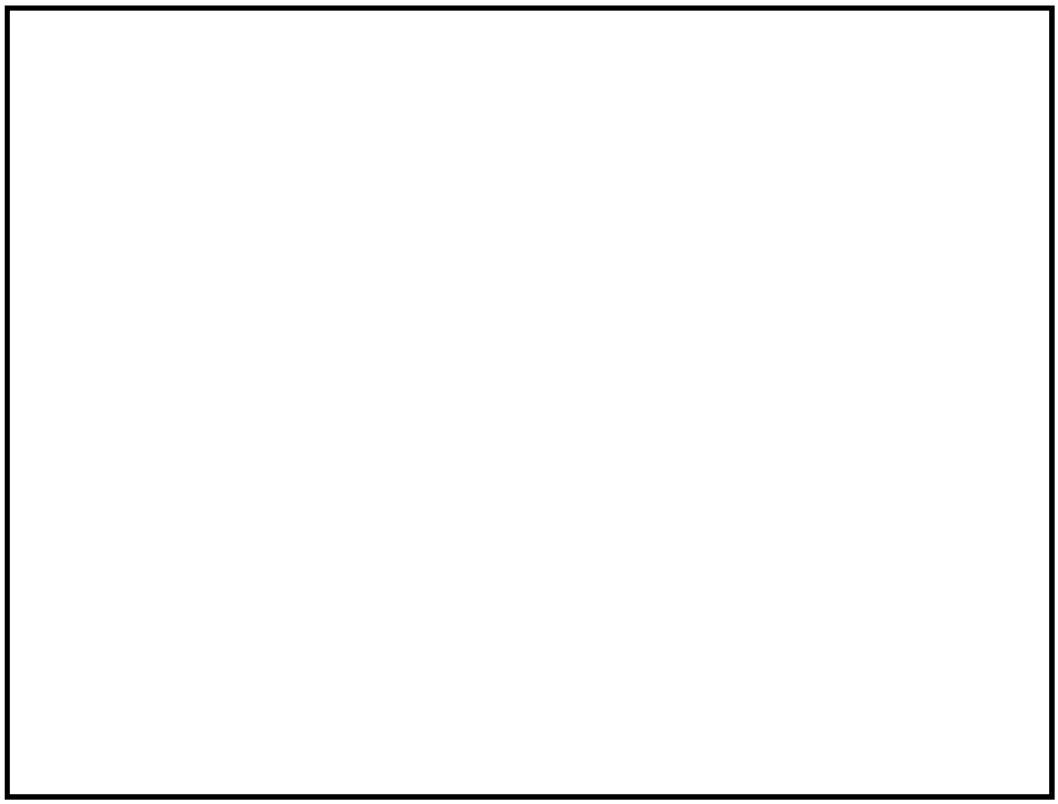


図2-4　中央制御室換気系冷凍機周り配管及び弁並びに非常用ガス処理系排気筒配置図

2.3　評価方針

配管及び弁の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，配管及び弁の評価対象部位に作用する貫入及び応力等が，許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

屋外の配管及び弁の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

(1)　衝突評価の評価方針

配管及び弁の衝突評価フローを図2-5に示す。衝突評価においては，防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。配管及び弁の衝突評価における許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

なお，非常用ガス処理系排気筒が仮に飛来物による衝突によって貫通しても，その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気され，かつ速やかに補修する方針とするため，非常用ガス処理系排気筒の衝突評価は行わない。

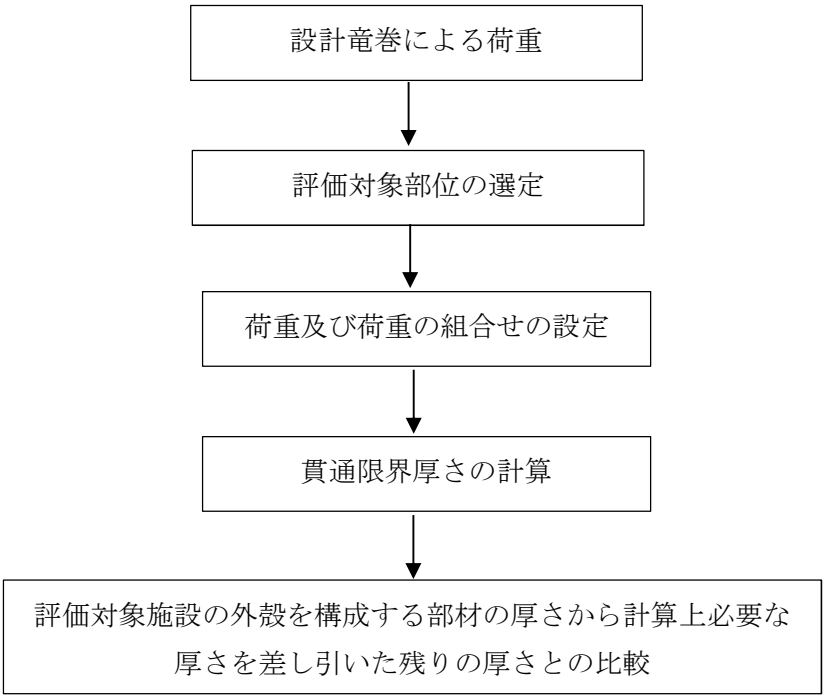


図2-5　配管及び弁の衝突評価フロー

(2)　構造強度評価の評価方針

配管及び弁の構造強度評価フローを図2-6に示す。構造強度評価において，配管及び弁に対し，設計竜巻による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。

構造強度評価では，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。配管及び弁の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」((社) 日本電気協会)，「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」((社) 日本電気協会) 及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」((社) 日本電気協会) (以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。) の許容応力状態ⅢＡＳとする。

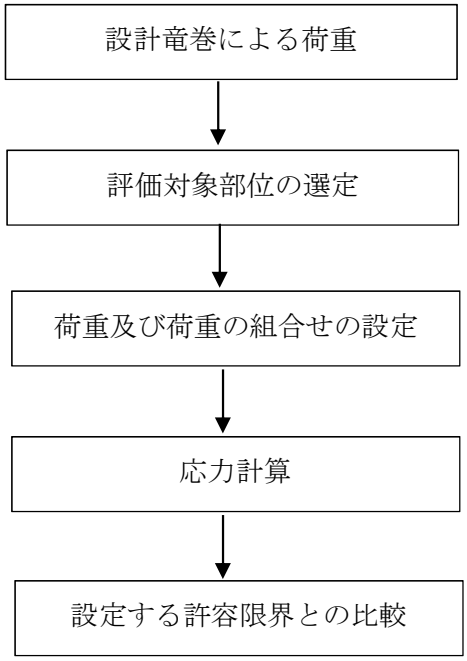


図2-6　配管及び弁の構造強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・「タービンミサイル評価について」（昭和52年7月20日　原子炉安全専門審査会）
・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（社）日本電気協会
・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ1-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）
・「新版機械工学便覧」（1987年4月日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 衝突評価の記号の定義

配管及び弁の衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
D_o	mm	配管の外径
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	－	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
P	MPa	最高使用圧力
S	MPa	許容引張応力
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
t	mm	配管の計算上必要な厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
η	－	継手効率

(2) 構造強度評価の記号の定義

配管及び弁の構造強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2 構造強度評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
A	m^2/m	単位長さ当たりの施設の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
L	m	支持間隔
M	N･m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	N/m^2	設計用速度圧
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
W_W	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重

表3-2　構造強度評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm^3	断面係数
π	－	円周率
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
σ_1，σ_2	MPa	配管に生じる応力
σ_{WP}	MPa	気圧差により生じる応力
σ_{WT1}，σ_{WT2}	MPa	複合荷重により生じる応力
σ_{WW}	MPa	風圧力により生じる応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

3.2　評価対象部位

配管及び弁の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1)　衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により，配管及び弁に衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため，貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。弁が設置されている箇所においては，弁の板厚は配管の板厚に比べ厚く，配管の評価に包絡されるため，配管の評価のみ実施する。

配管及び弁の衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

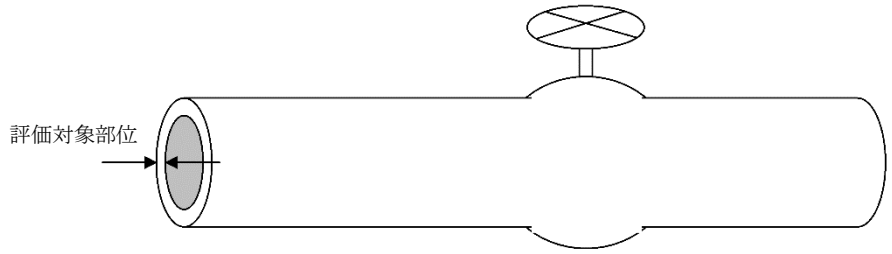


図3-1　配管及び弁の衝突評価の評価対象部位

(2)　構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は，配管本体に作用する。なお，弁を設置している箇所においては，弁の断面係数は配管に比べ大きく，配管の評価に包絡されるため配管の評価のみを実施する。サポート（配管支持構造物）については，建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており，配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも，作用荷重は耐荷重以下

であるため，竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡される。
このことから，配管本体を評価対象部位として選定する。

配管及び弁の構造強度評価における評価対象部位を図3-2に示す。

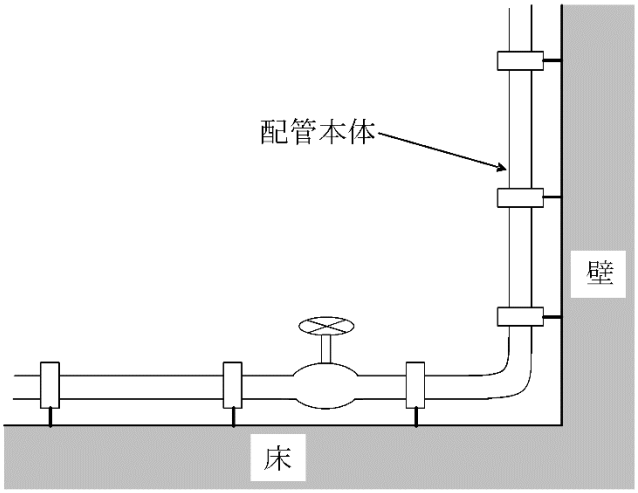


図3-2　配管及び弁の構造強度評価の評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として，防護ネット（ネットの網目寸法40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し，砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては，評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず，貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-3，配管及び弁の衝突評価に用いる荷重を表3-4に示す。

表3-3　砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-4　配管及び弁の衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	配管及び弁	配管	飛来物による衝撃荷重

(2)　構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a.　荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(a)　常時作用する荷重

常時作用する荷重として，持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

単位長さ当たりの自重による荷重は以下のとおり計算する。

$w = m \cdot g$

(b)　設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。なお，非常用ガス処理系排気筒は大口径の配管が開放された施設であるため，気圧差は発生しないことから気圧差による荷重は考慮しない。また，非常用ガス処理系排気筒が仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても，その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気され，かつ速やかに補修する方針とするため，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。さらに，防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で，衝突時間が極めて短く，衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから，機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ.　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い，算出する。

$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$

ロ.　気圧差による荷重(W_P)

気圧差による荷重W_Pは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法に従って，気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は，「3.5(2) 構造強度評価の評価方法」に示す。

(c)　運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては，配管に作用する内圧を考慮する。なお，非常用ガス処理系排気筒の内圧については，気圧差同様考慮しない。

b.　荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ，配管及び弁の評価対象部位ごとに設定する。

配管本体には，自重，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び内圧が作用する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表3-5に示す。

表 3-5　荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	配管及び弁（中央制御室換気系冷凍機，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り）	配管本体	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧
	非常用ガス処理系排気筒	配管本体	①風圧力による荷重 ②自重

3.4　許容限界

配管及び弁の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ及びＪＥＡＧ４６０１に基づく許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力の許容荷重を用いる。

(1)　衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は，評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し，外殻を構成する部材が，機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため，評価式により算定した貫通限界厚さが配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管及び弁における計算上必要な厚さについては，昭和50年6月5日付け50資庁第4488号にて認可された工事計画の工事計画書の添付書類「Ⅲ-1-2-1 残留熱除去系海水系配管の規格計算書」の値を用いる。

また，ディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管及び弁における計算上必要な厚さについては，昭和50年10月6日付け50資庁第8313号にて認可された工事計画の工事計画書の添付書類「Ⅲ-1-12-2　非常用予備電源装置内燃機関冷却系海水配管の規格計算書」の値を用いる。

中央制御室換気系冷凍機周りの配管及び弁における計算上必要な厚さは，ＪＳＭＥ　PPD-3411に基づき，以下の式より算出する。

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表3-6に示す。

表3-6　配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管及び弁	6.0*	1.9*	4.1
ディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管及び弁	9.3	1.0	8.3
中央制御室換気系冷凍機周りの配管及び弁	5.5	0.3	5.2

注記　＊：工事計画書記載の配管のうち，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが最小となる配管を選定

(2)　構造強度評価の許容限界

配管の許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス2,3配管」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓから算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は，評価対象部位の最高使用温度又は周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて計算する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

配管の構造強度評価における許容限界を表3-7，許容応力を表3-8に示す。

表3-7　配管の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力（膜＋曲げ）
Ⅲ$_A$Ｓ	Ｓ$_y$

表 3-8　配管の許容応力

評価対象配管	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S (MPa)
中央制御室換気系冷凍機周り配管	65.6*1	231	103
残留熱除去系海水系ポンプ周り配管	50*2	239	—
	50*2	319	—
ディーゼル発電機用海水ポンプ周り配管	50*2	239	—
非常用ガス処理系排気筒	72*1	232	—

注記　＊1：最高使用温度

＊2：周囲環境温度

3.5　評価方法

(1)　衝突評価の評価方法

配管及び弁の衝突評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを，「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5\cdot M\cdot v^{2}}{1.4396\times10^{9}\cdot K^{2}\cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2)　構造強度評価の評価方法

配管及び弁の構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

a.　計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため，風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径，材質ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。保温材を使用している配管については，保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート支持間隔が短くなるため，弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

配管モデル図を図3-3に示す。

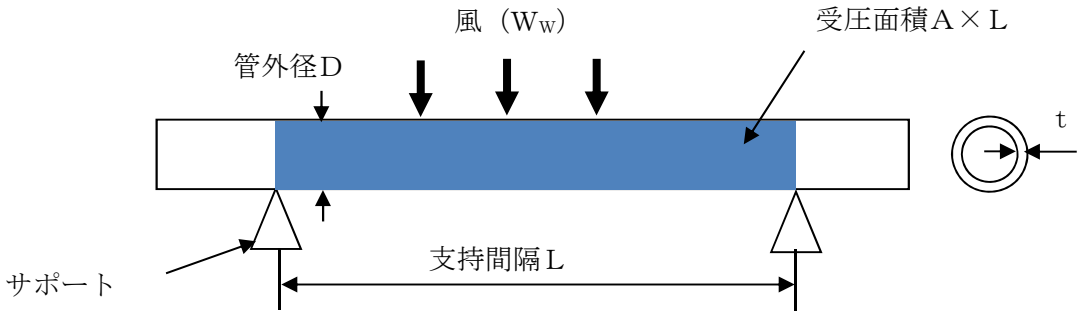


図 3-3　配管モデル図

b.　計算方法

(a)　竜巻による応力計算

イ.　風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

$$\sigma_{WW}=\frac{M}{Z}=\frac{W_W\cdot L^2}{8\cdot Z}$$

ここで，

$$Z=\frac{\pi}{32\cdot D}\left\{D^4-(D-2\cdot t)^4\right\}$$

ロ.　気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は，気圧が低下した分，内圧により生じる1次一般膜応力が増加すると考えて，その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP}=\frac{\Delta P\cdot D}{4\cdot t}$$

したがって，イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力σ_{WT1}及びσ_{WT2}は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1}=\sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2}=\sigma_{WW}+0.5\cdot\sigma_{WP}$$

(b)　組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として，配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる1次一般膜応力は，以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重}=\frac{w\cdot L^2}{8\cdot Z}$$

$$w=m\cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって，自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる1次一般膜応力を足し合わせ，配管に生じる応力として以下の式によりσ１及びσ２を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-5 に示す。

表 4-1 共通評価条件

ガスト係数 G (－)	風力係数 C (－)	設計用速度圧 q (N/m^2)	気圧低下量 ΔP (N/m^2)	重力加速度 g (m/s^2)
1	1.2	6100	8900	9.80665

表 4-2 評価条件（中央制御室換気系冷凍機周り配管）

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m^2/m)	内圧 P (MPa)
89.1	STPT410	3.25	5.5	17.8	0.1691	0.54

表 4-3 評価条件（残留熱除去系海水系ポンプ周り配管）

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m^2/m)	内圧 P (MPa)
355.6	STPT410	14.20	11.1	196.6	0.5556	3.45
508.0	SM50B	14.20	12.7	358.0	0.7080	3.45

表 4-4 評価条件（ディーゼル発電機用海水ポンプ周り配管）

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m^2/m)	内圧 P (MPa)
267.4	STPT410	11.03	9.3	119.9	0.4674	0.70

表 4-5 評価条件（非常用ガス処理系排気筒）

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m^2/m)
457.2	SM400B	14.80	14.3	156.0	0.4572

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは，配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。また，弁の板厚は配管に比べ厚いため，配管の評価に包絡される。

表 5-2 配管及び弁の衝突評価結果（砂利）

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管及び弁	4.1 (配管)	1.0	貫通しない
ディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管及び弁	8.3 (配管)	1.0	貫通しない
中央制御室換気系冷凍機周りの配管及び弁	5.2 (配管)	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 中央制御室換気系冷凍機周りの配管及び弁

構造強度評価結果を表5-3に示す。

中央制御室換気系冷凍機周りの配管に発生する応力は，許容応力以下である。また，弁を設置している箇所においては，弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡される。

表 5-3 評価結果（中央制御室換気系冷凍機周り）

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
89.1	STPT410	11	68	231

b. 残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管及び弁

構造強度評価結果を表5-4に示す。

残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管に発生する応力は，許容応力以下である。また，弁を設置している箇所においては，弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡される。

表 5-4 評価結果（残留熱除去系海水系ポンプ周り）

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
355.6	STPT410	77	179	239
508.0	SM50B	72	127	319

c. ディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管及び弁

構造強度評価結果を表5-5に示す。

ディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管に発生する応力は，許容応力以下である。また，弁を設置している箇所においては，弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡される。

表 5-5　評価結果（ディーゼル発電機用海水ポンプ周り）

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
267.4	STPT410	44	154	239

d.　非常用ガス処理系排気筒

構造強度評価結果を表5-6に示す。

非常用ガス処理系排気筒に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-6　評価結果（非常用ガス処理系排気筒）

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
457.2	SM400B	20	63	232

Ⅴ-3-別添 1-1-10　波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書

目次

Ⅴ-3-別添 1-1-10-1　建屋及び構造物の強度計算書
Ⅴ-3-別添 1-1-10-2　消音器の強度計算書
Ⅴ-3-別添 1-1-10-3　排気管，放出管及びベント管の強度計算書

Ⅴ-3-別添 1-1-10-1　建屋及び構造物の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 3
2.3 評価方針 10
2.4 適用規格 13
3. 強度評価方法 14
3.1 記号の定義 14
3.2 評価対象部位 14
3.3 荷重及び荷重の組合せ 18
3.4 許容限界 20
3.5 評価方法 25
4. 評価条件 36
4.1 サービス建屋 36
4.2 海水ポンプエリア防護壁 38
4.3 鋼製防護壁 40
5. 強度評価結果 41
5.1 サービス建屋 41
5.2 海水ポンプエリア防護壁 41
5.3 鋼製防護壁 44

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，波及的影響を及ぼす可能性がある施設であるサービス建屋，海水ポンプエリア防護壁及び鋼製防護壁が，設計竜巻による風圧力による荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物（以下「飛来物」という。）による衝撃荷重並びにその他の荷重に対し，竜巻時及び竜巻通過後においても，竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないように，隣接する竜巻より防護すべき施設を内包するタービン建屋及び外部事象防護対象施設である原子炉建屋，残留熱除去系海水系ポンプ等に対して，機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

2. 基本方針

建屋及び構造物について，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，サービス建屋，海水ポンプエリア防護壁及び鋼製防護壁の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

サービス建屋は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す配置のとおり，原子炉建屋及びタービン建屋に隣接する建屋である。

海水ポンプエリア防護壁は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す配置のとおり，残留熱除去系海水系ポンプ等に隣接する構造物である。

鋼製防護壁は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す配置のとおり，残留熱除去系海水系ポンプ等に隣接する構造物である。

建屋及び構造物の配置図を図2-1及び図2-2に示す。

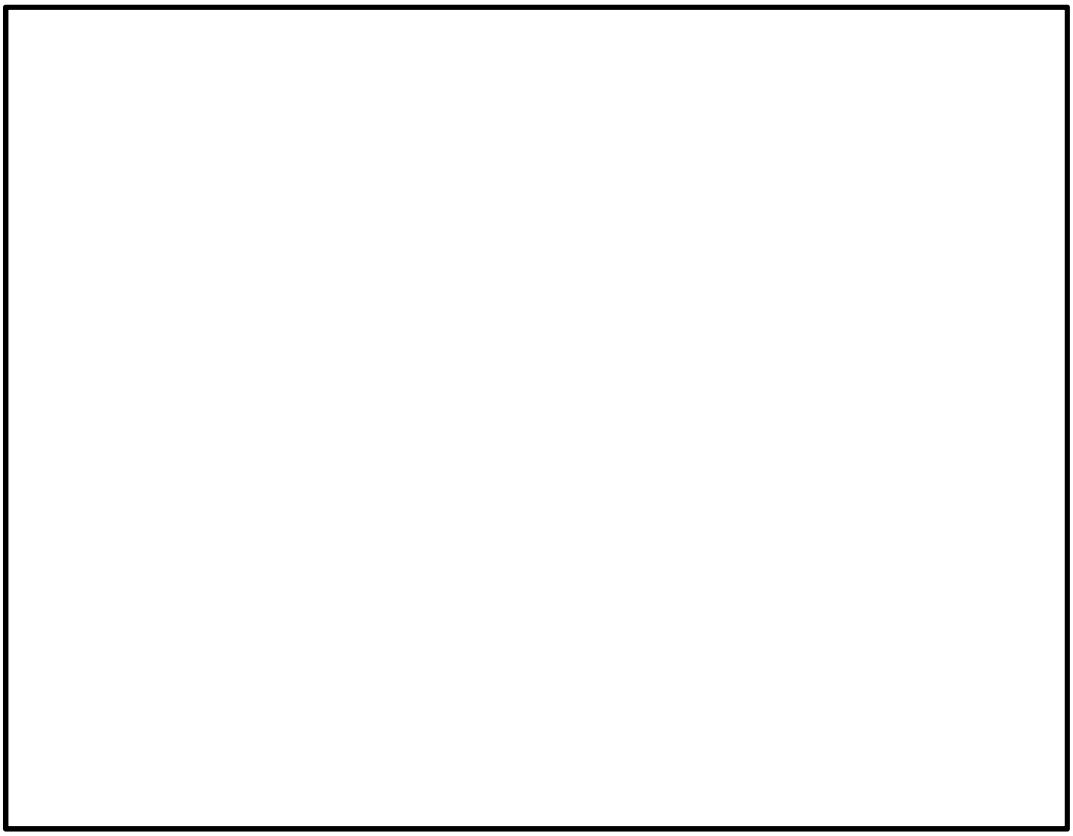


図 2-1　サービス建屋及び鋼製防護壁の配置図

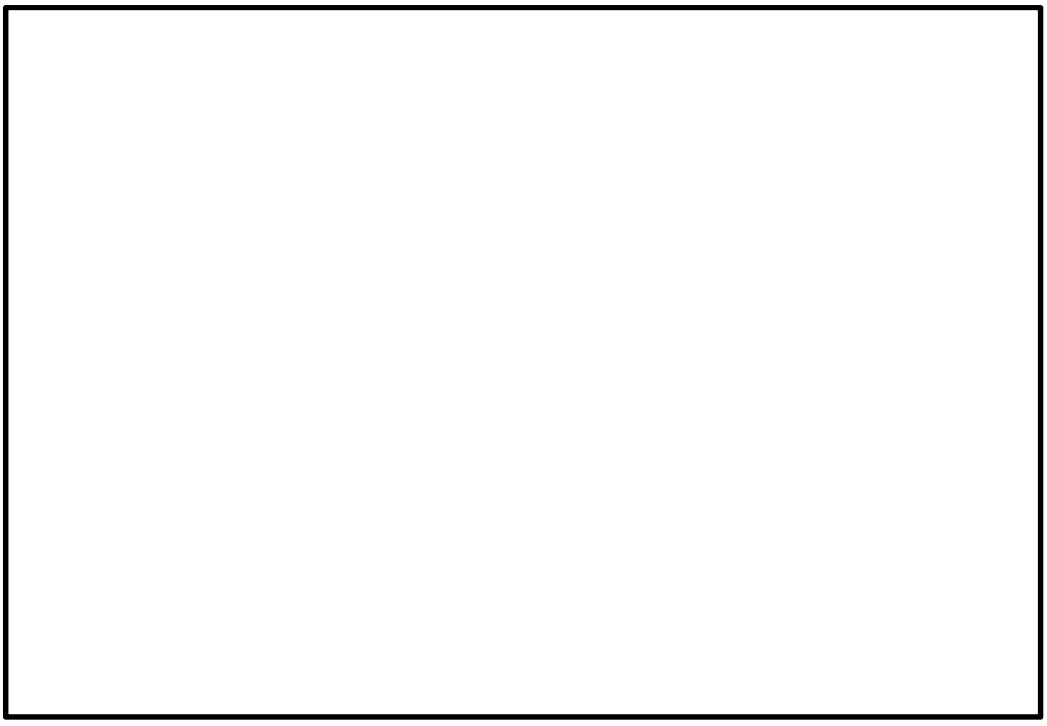


図 2-2　海水ポンプエリア防護壁の配置図

2.2　構造概要

(1)　サービス建屋

サービス建屋並びにサービス建屋から波及的影響を受けるおそれがある原子炉建屋及びタービン建屋は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画とする。

サービス建屋は，図2-3に示すとおり，発電所建設時に設置した部分（以下「既設部」という。）及び，その後に増設した部分（以下「増設部」という。）で構成され，既設部及び増設部並びに原子炉建屋及びタービン建屋は，それぞれ構造的に独立した建物である。波及的影響を考慮する本評価においては，原子炉建屋及びタービン建屋に隣接する既設部を対象とする。（以下特記のない限り，「サービス建屋」という場合は既設部を指す。）

サービス建屋，原子炉建屋及びタービン建屋は，鉄筋コンクリート造（以下「ＲＣ造」という。）の躯体で構成する。

サービス建屋の断面図を図2-4に示す。

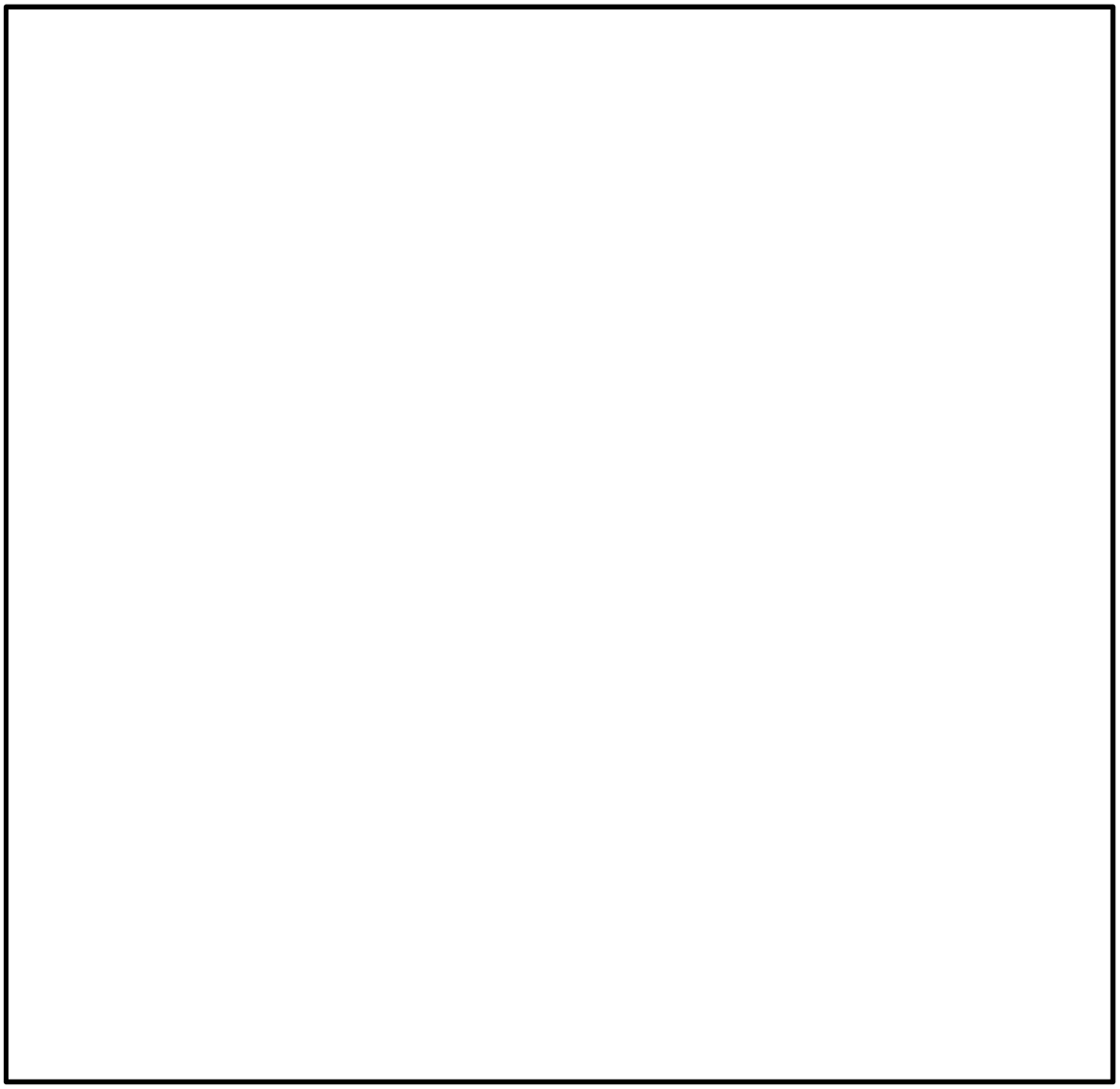


図2-3　サービス建屋，原子炉建屋及びタービン建屋の配置

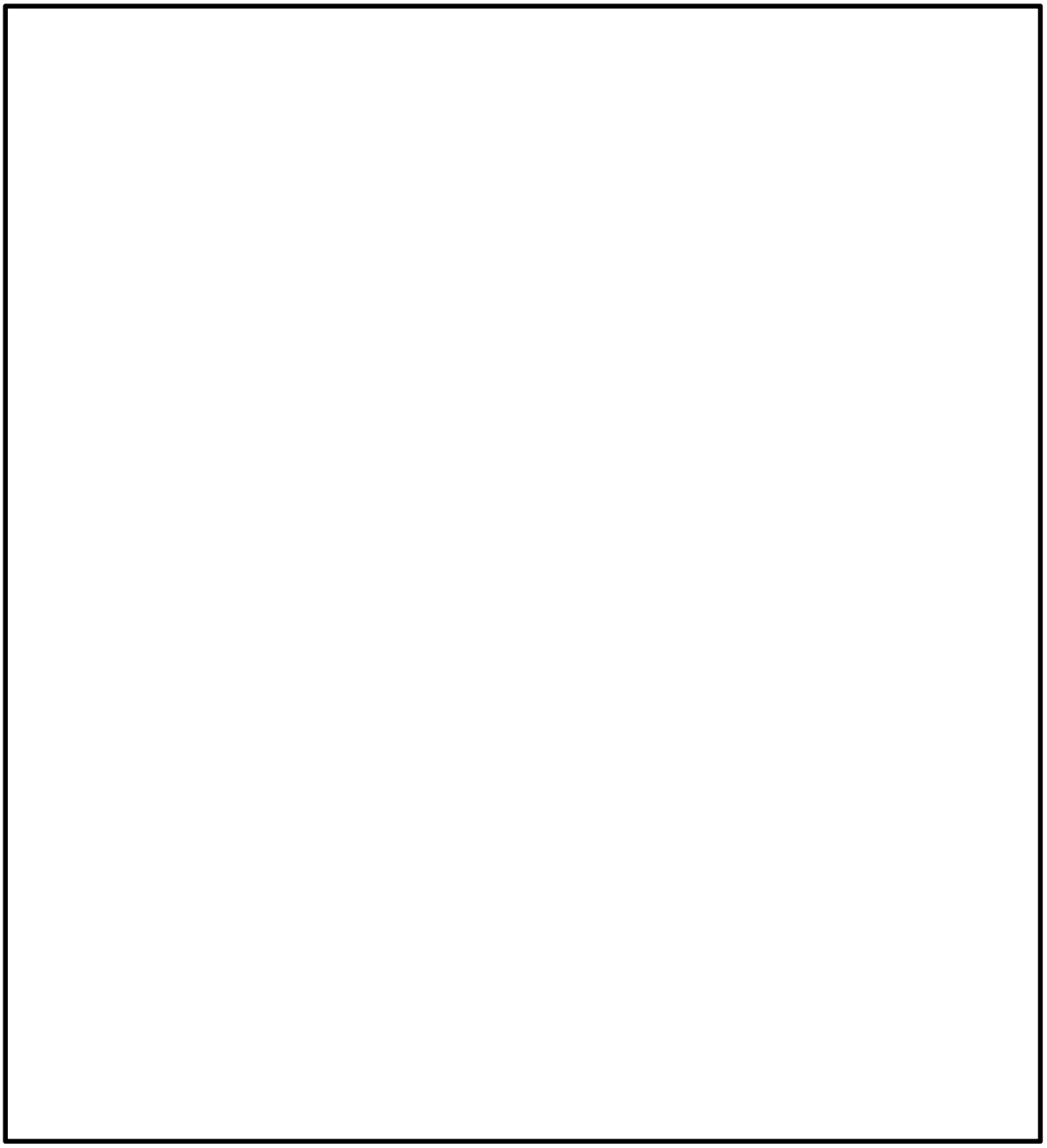


図2-4　サービス建屋（既設部）断面図

(2)　海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画とする。

海水ポンプエリア防護壁は，鉄筋コンクリート壁並びに鉄骨架構及び鋼板で構成され，また，竜巻飛来物に対する防護ネット及び防護鋼板を取り付ける架構としての役割も有する。

海水ポンプエリア防護壁の概略構造図を図 2-5 に示す。

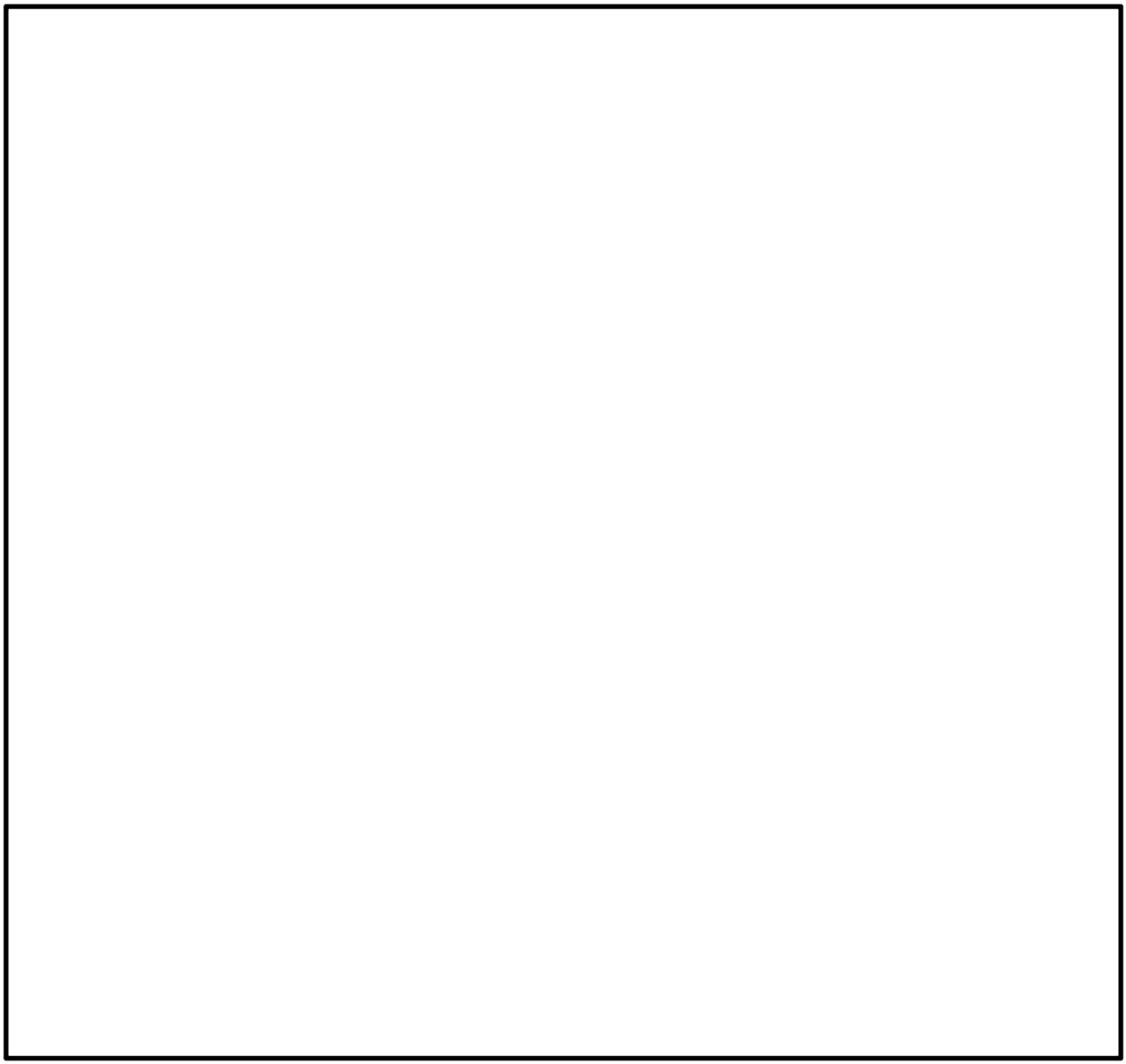


図 2-5　海水ポンプエリア防護壁概略構造図(1/4)

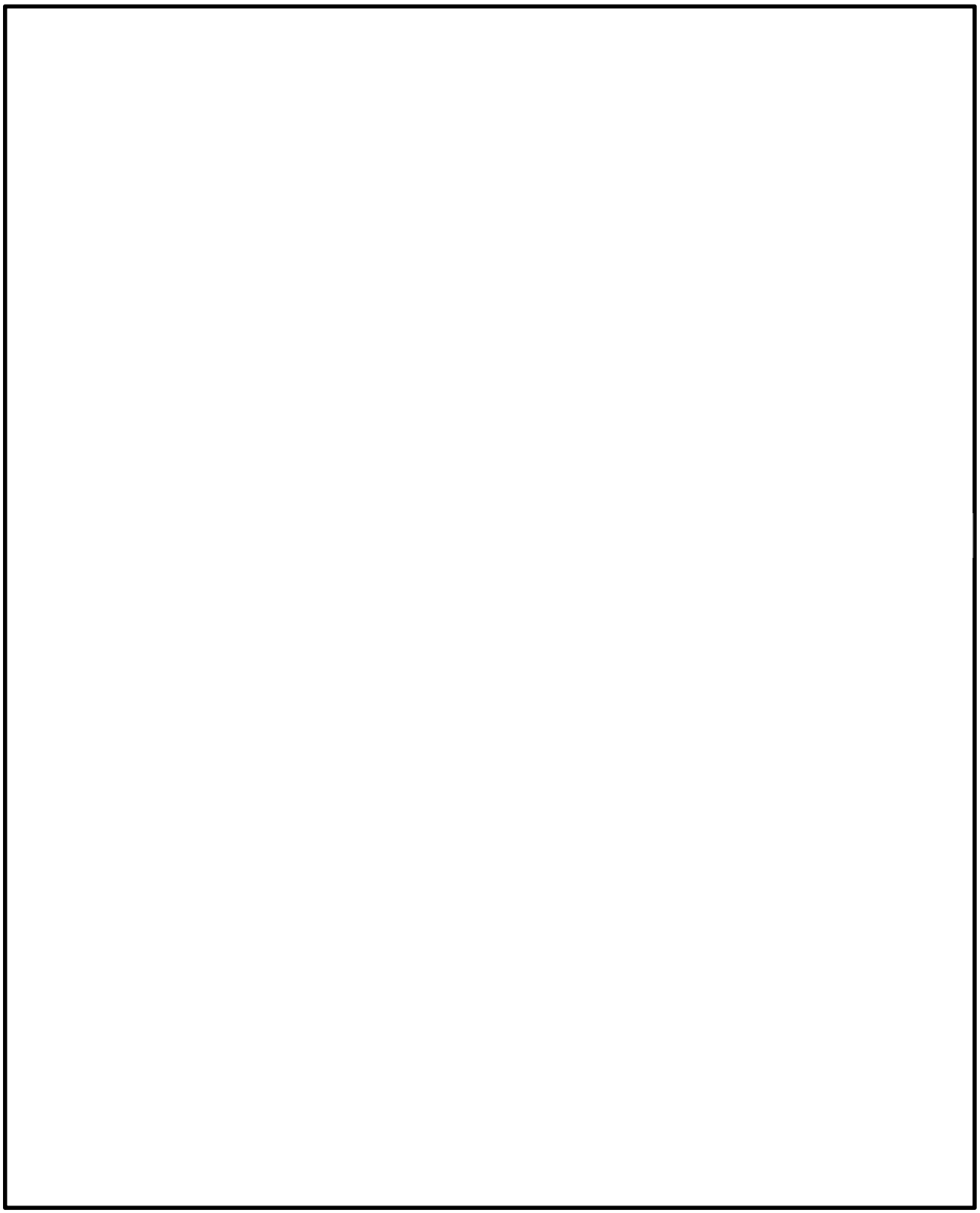


図 2-5　海水ポンプエリア防護壁概略構造図(2/4)

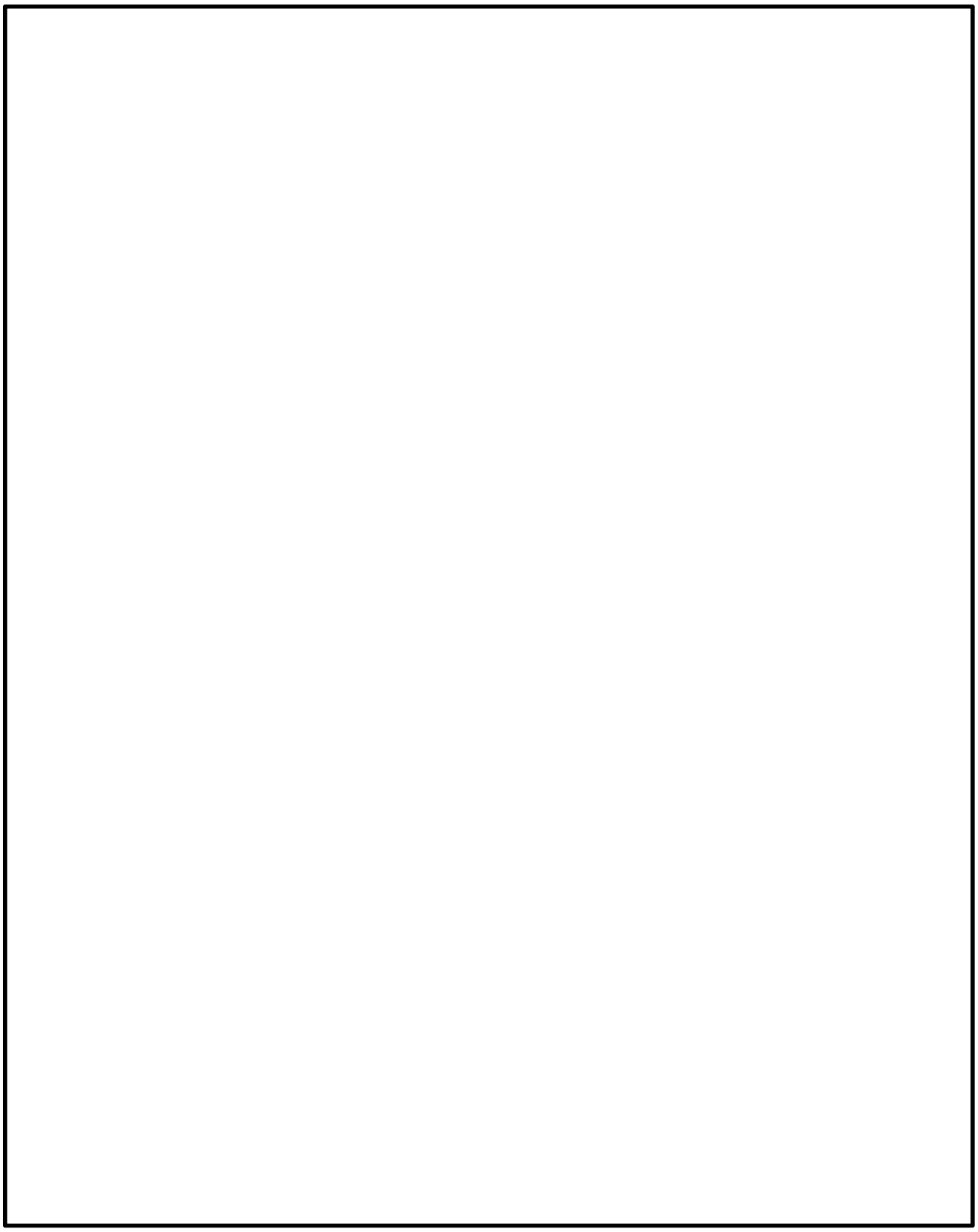


図 2-5　海水ポンプエリア防護壁概略構造図(3/4)

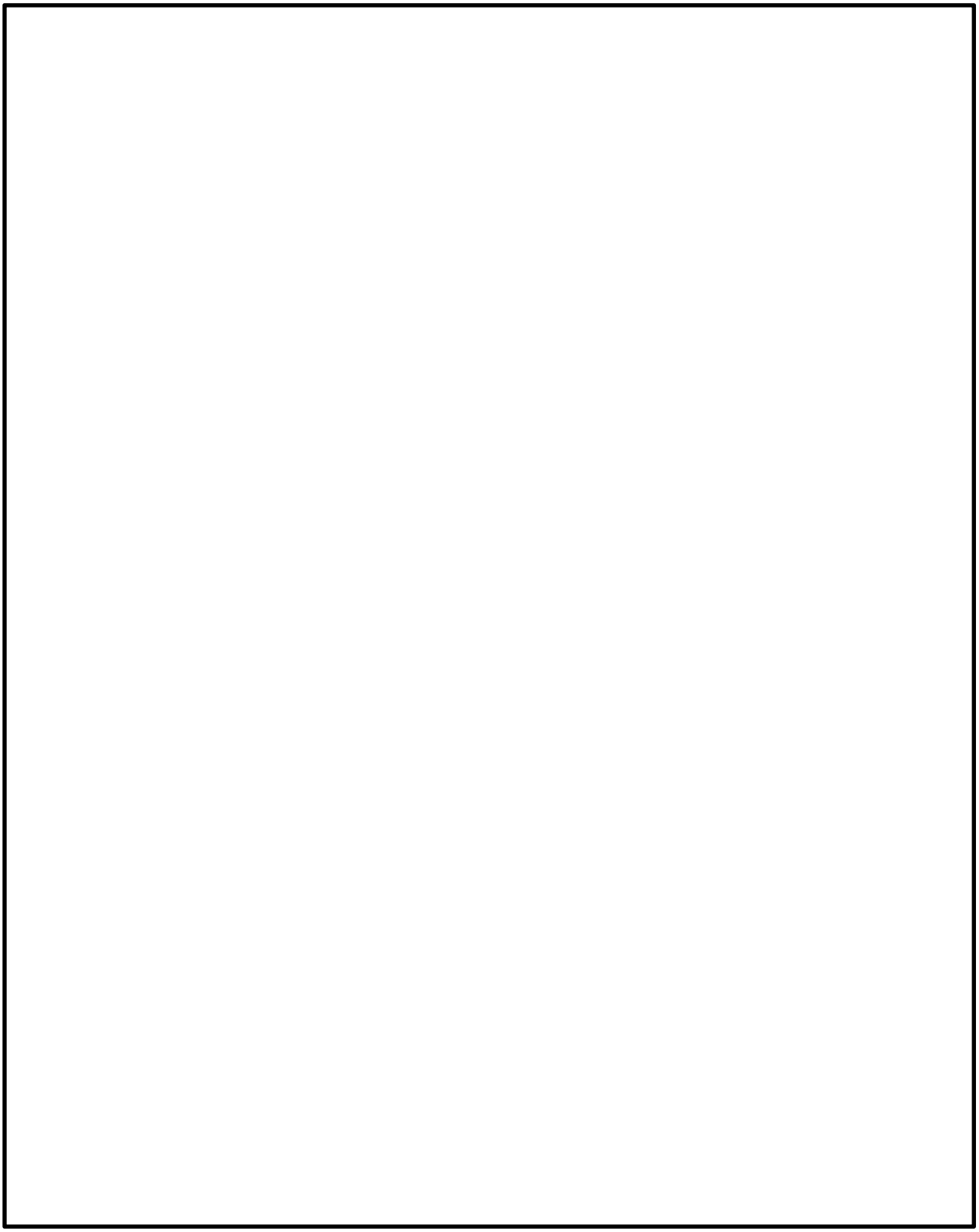
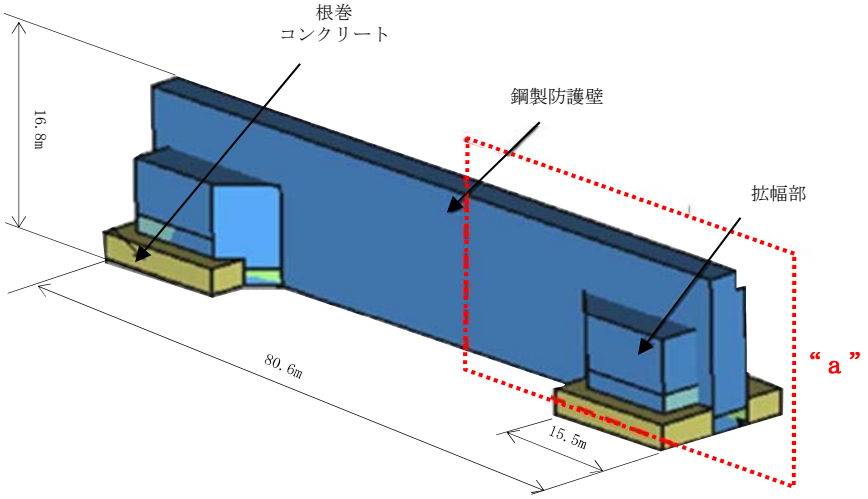


図 2-5　海水ポンプエリア防護壁概略構造図(4/4)

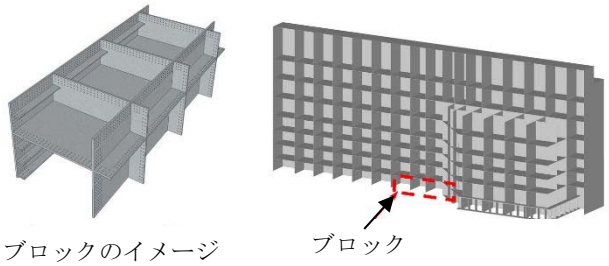
(3)　鋼製防護壁

鋼製防護壁は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

鋼製防護壁は防潮堤の一部であり，鉛直及び水平方向に配置された鋼板で構成される鋼殻構造で構成され，添接板と高力ボルトにより結合される，分割したブロックの集合体として全体を構成する。鋼製防護壁の概略構造図を図 2-6 に示す。



（鳥瞰図）



（内部透視図（“a”部））

図 2-6　鋼製防護壁概略構造図

2.3　評価方針

(1)　サービス建屋

サービス建屋の強度評価は，添付書類「V-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを，「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

サービス建屋の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

具体的には，サービス建屋が，隣接する竜巻より防護すべき施設を内包するタービン建屋及び外部事象防護対象施設である原子炉建屋に接触し影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

サービス建屋の構造強度評価（以下「変形評価」という。）については，設計荷重に対し，原子炉建屋及びタービン建屋との相対変位を算出し，接触を生じないことを確認する。

サービス建屋の波及的影響評価フローを図2-7に示す。

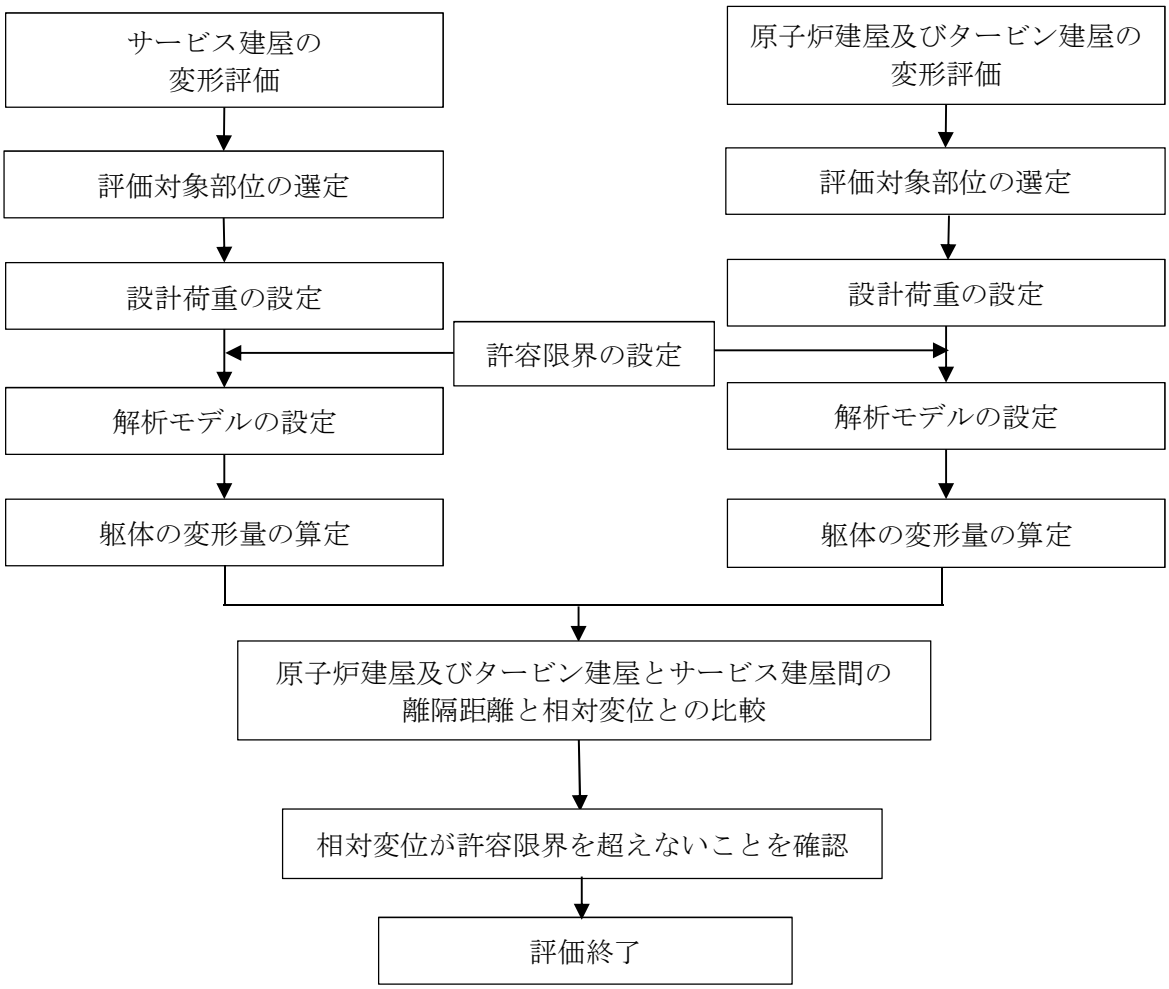


図2-7　サービス建屋の波及的影響評価フロー

(2)　海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを，「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

海水ポンプエリア防護壁の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

具体的には，海水ポンプエリア防護壁が隣接する残留熱除去系海水系ポンプ等との接触によって影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

海水ポンプエリア防護壁の構造強度評価（以下「変形評価」という。）については，設計荷重に対し，残留熱除去系海水系ポンプ等に接触する変形を生じないよう，当該防護壁の変形が弾性限界の範囲に留まることを確認する。

海水ポンプエリア防護壁の波及的影響評価フローを図2-8に示す。

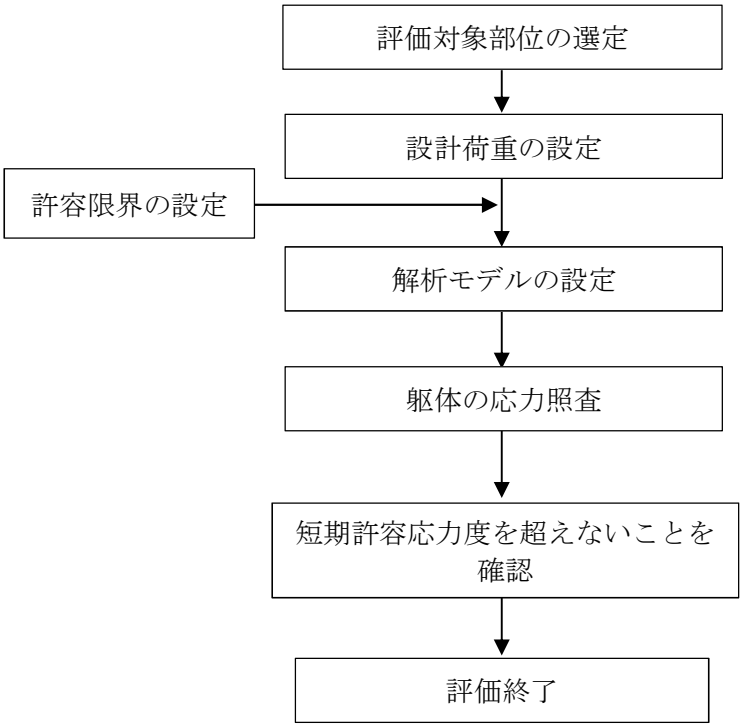


図2-8　海水ポンプエリア防護壁の波及的影響評価フロー

(3)　鋼製防護壁

鋼製防護壁の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを，「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

鋼製防護壁の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

具体的には，鋼製防護壁が転倒し，隣接する海水ポンプ室内の残留熱除去系海水系ポンプ等との接触によって影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

鋼製防護壁の構造強度評価については，設計荷重に対し，鋼製防護壁に転倒が生じないことを計算により確認する。評価方法としては，鋼製防護壁に作用する設計荷重が，津波による荷重に包絡されることを確認する。

鋼製防護壁の波及的影響評価フローを図2-9に示す。

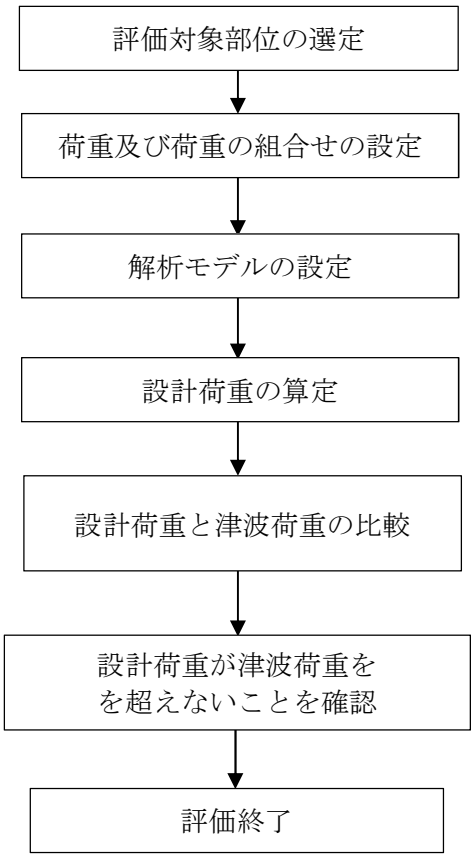


図2-9　鋼製防護壁の波及的影響評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・鋼構造設計規準 -許容応力度設計法- （（社）日本建築学会，2005 改定）
・建築基準法及び同施行令
・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）*
・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会）*
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）*
・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
・発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ ＳＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）
・道路橋示方書・同解説 Ⅱ鋼橋編，Ⅳ下部構造編（(社)日本道路協会 平成 24 年 3 月）
・コンクリート標準示方書 2002 年（構造性能照査編）及び 2012 年（設計編）土木学会

注記 ＊：以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

波及的影響に関する強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積
C	—	風力係数
F_m	N	飛来物による衝撃荷重
G	—	ガスト影響係数
m	kg	飛来物の質量
ΔP	N/m^2	単位面積あたりの最大気圧低下量
q	N/m^2	設計用速度圧
V	m/s	飛来物の衝突速度

3.2 評価対象部位

(1) サービス建屋

サービス建屋の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ，構造躯体である鉄筋コンクリート躯体（耐震壁）を選定する。

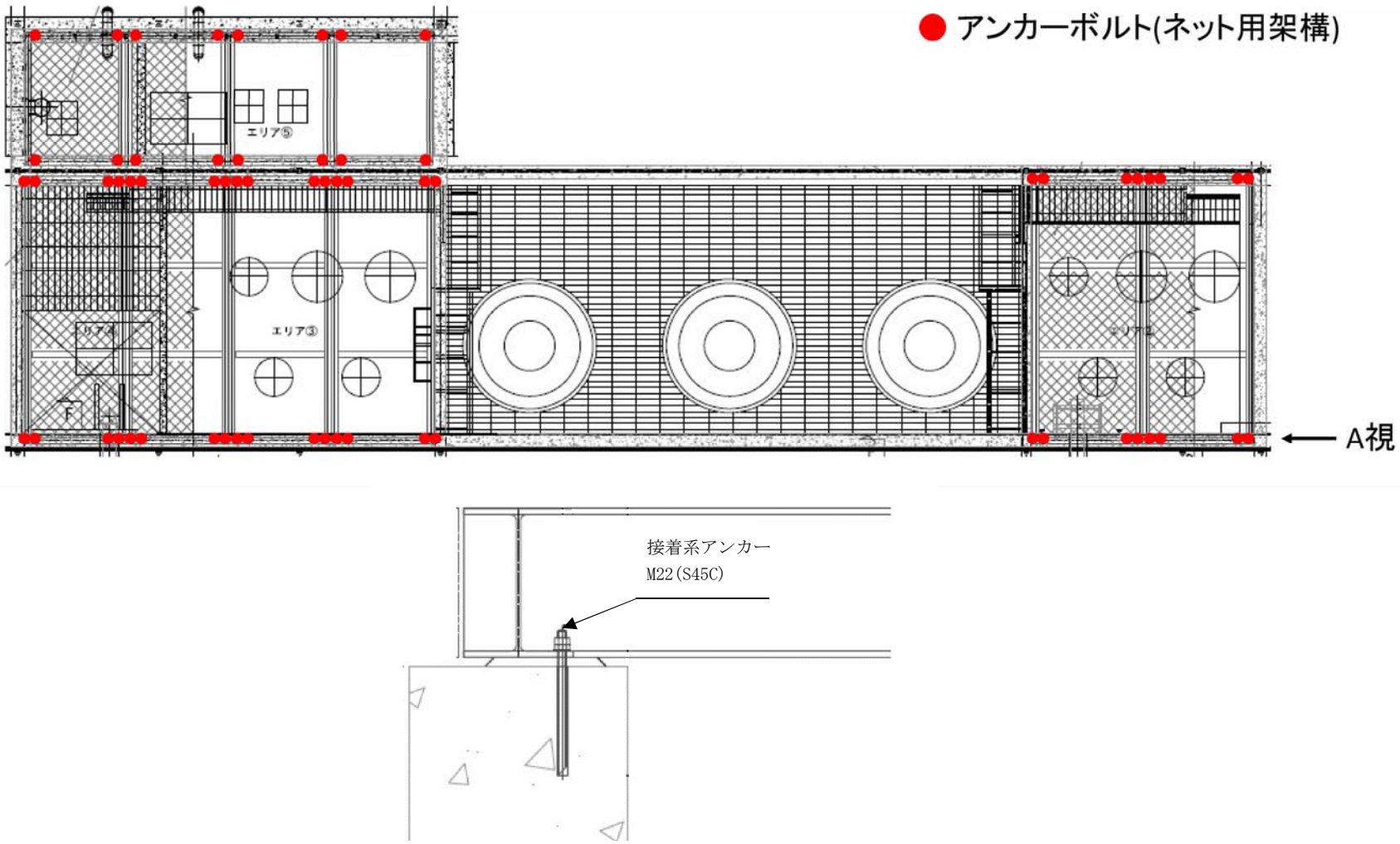
また，設計荷重に対し，サービス建屋による原子炉建屋及びタービン建屋への波及的影響評価を行うため，ＲＣ造である原子炉建屋及びタービン建屋の耐震壁を評価対象部位として選定する。

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ，エリア②～⑤（ポンプエリア）及びエリア⑧（配管エリア）の構造躯体である鉄筋コンクリート壁及び鉄骨架構（アンカーボルト含む）を選定する。

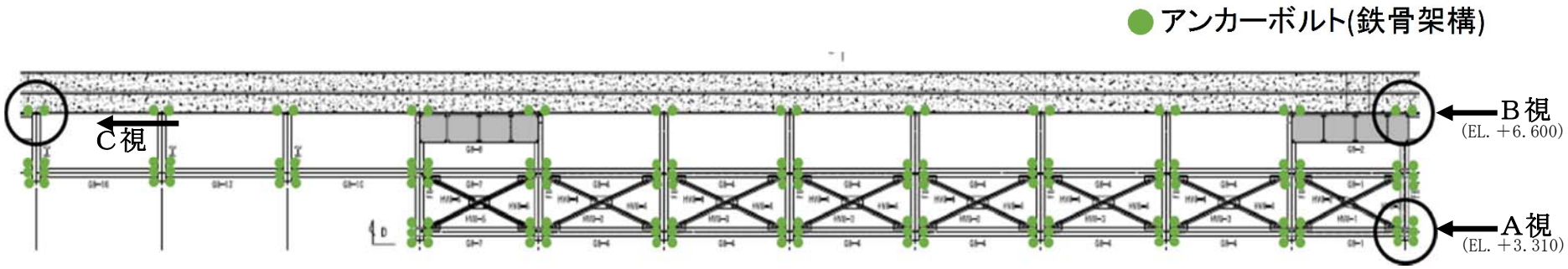
但し，図2-5(1/4)に示す，ＲＣ壁のうち部位 7 については，その他の部位に比べ断面が大きく，防護ネット等に覆われ竜巻の風が直接作用しないことから，その他の部位の評価に包絡されると考えられるため，評価対象としない。

アンカーボルト及び鉄筋アンカーの配置図を，図3-1～2に示す。

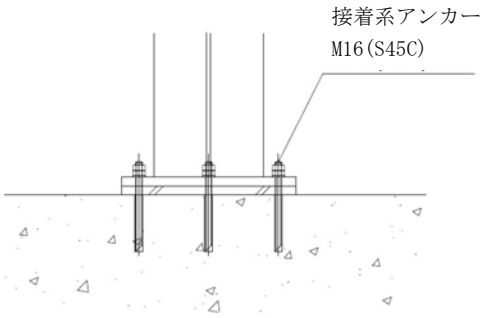


（A視詳細図）

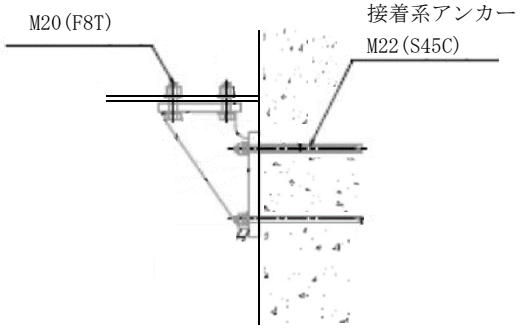
図 3-1　海水ポンプエリア防護壁のアンカーボルト配置図（1/2）（エリア②～⑤）



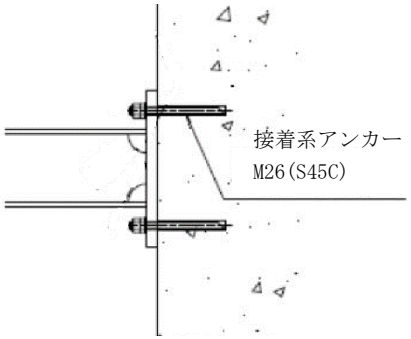
平面図



（A視詳細図）



（B視詳細図）



（C視詳細図）

図 3-1　海水ポンプエリア防護壁のアンカーボルト配置図（2/2）（エリア⑧）

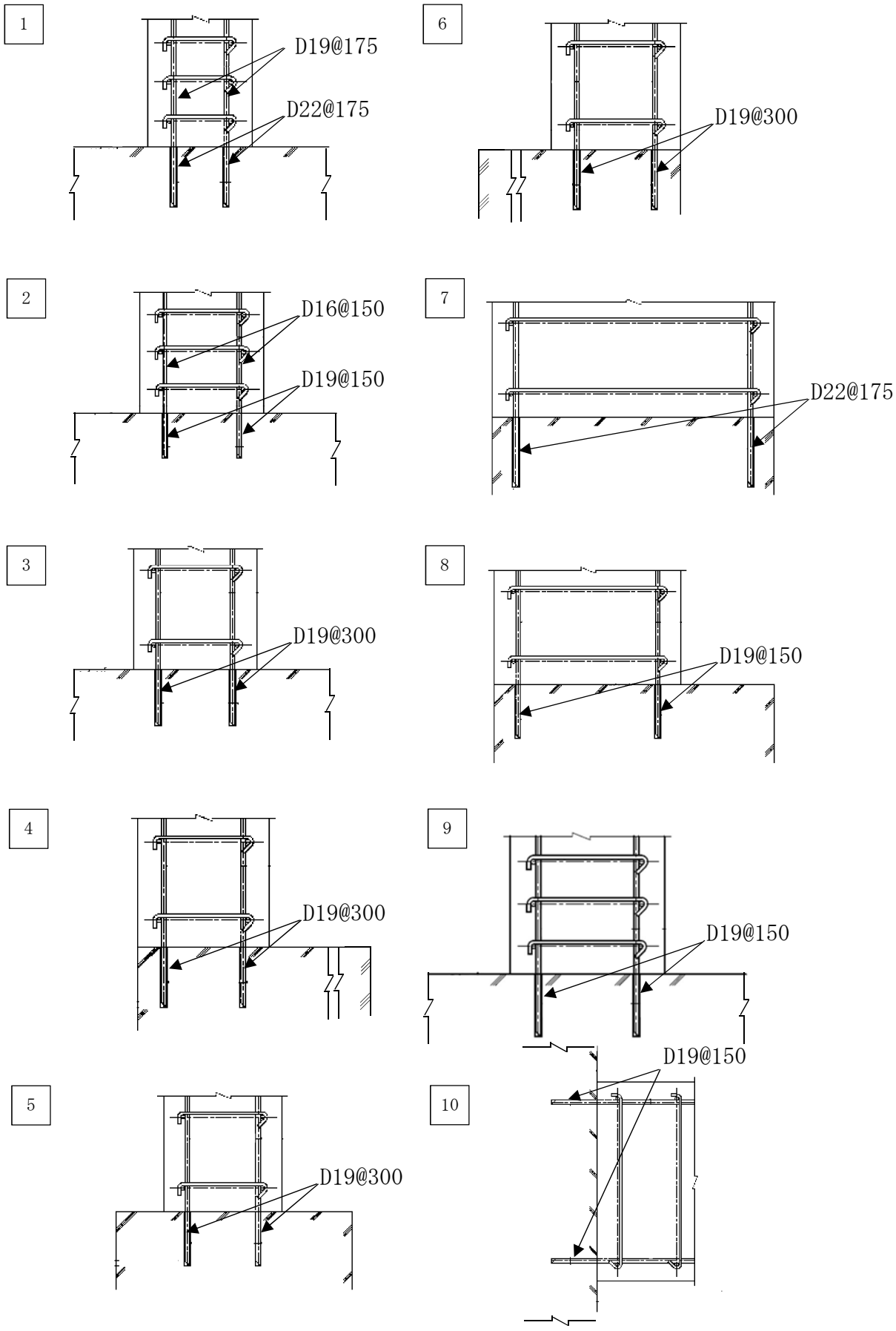


図 3-2　海水ポンプエリア防護壁のＲＣ造躯体アンカー配置図

(3)　鋼製防護壁

鋼製防護壁の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ，構造躯体である上部工（鋼殻構造部）を選定する。

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組み合わせは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

a.　風圧力による荷重（W_W）

風圧力による荷重W_Wは，下式により算定する。

風力係数Cは，「建築基準法及び同施行令」，「建築物荷重指針・同解説」に基づき設定する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

q及びGについては，表3-2に示すとおり。

表3-2　設計用速度圧及びガスト影響係数

設計用速度圧q (N/m^2)	ガスト影響係数G (－)
6100	1.0

b.　気圧差による荷重（W_P）

気圧差による荷重W_Pについては，気圧差による荷重が最大となる「閉じた施設」を想定し，下式により算定する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

c.　飛来物による衝撃荷重（W_M）

飛来物による衝撃荷重W_Mについては，表3-3に示す設計飛来物の衝突に伴う荷重としている。

なお，今回の評価対象部位となる構造躯体は，最も軽い海水ポンプ室防護壁のエリア⑧でも100ｔを超える質量を有しており，設計飛来物（鋼製材：0.135 t）の質量を相対的に無視し得るオーダとなる。このような施設の全体的な変形挙動の評価をする場合には，相対的に極小と見なせる設計飛来物により瞬間的に作用する衝撃荷重W_Mの影響は軽微と考えられるため，考慮しないものとする。

表3-3　設計飛来物の諸元

飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

d.　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重F_dとして，自重及び上載荷重を考慮する。

(2)　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて，風圧力による荷重，気圧差による荷重，飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表3-4に示す。

表3-4　荷重の組合せ

設計荷重の種類	荷重の組合せ
複合荷重W_{T1}	$W_P + F_d$
複合荷重W_{T2}	$W_W + 1/2 \cdot W_P + W_M + F_d$

W_M：風圧力による荷重　　W_P：気圧差による荷重

W_M：飛来物による衝撃荷重　　F_d：常時作用する荷重

3.4　許容限界

(1)　サービス建屋

サービス建屋の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」を踏まえて，評価内容に応じて設定する。

サービス建屋の躯体の変形に対する許容限界は，隣接するサービス建屋と原子炉建屋の離隔距離及びサービス建屋とタービン建屋との相対変位とする。

設定した許容限界を表3-5に，サービス建屋と原子炉建屋及びタービン建屋の境界部の断面図を図3-3及び図3-4に示す。

表3-5　許容限界（サービス建屋）

評価項目		許容限界
サービス建屋	躯体の変形	原子炉建屋との相対変位：　50 ㎜
		タービン建屋との相対変位：　50 ㎜

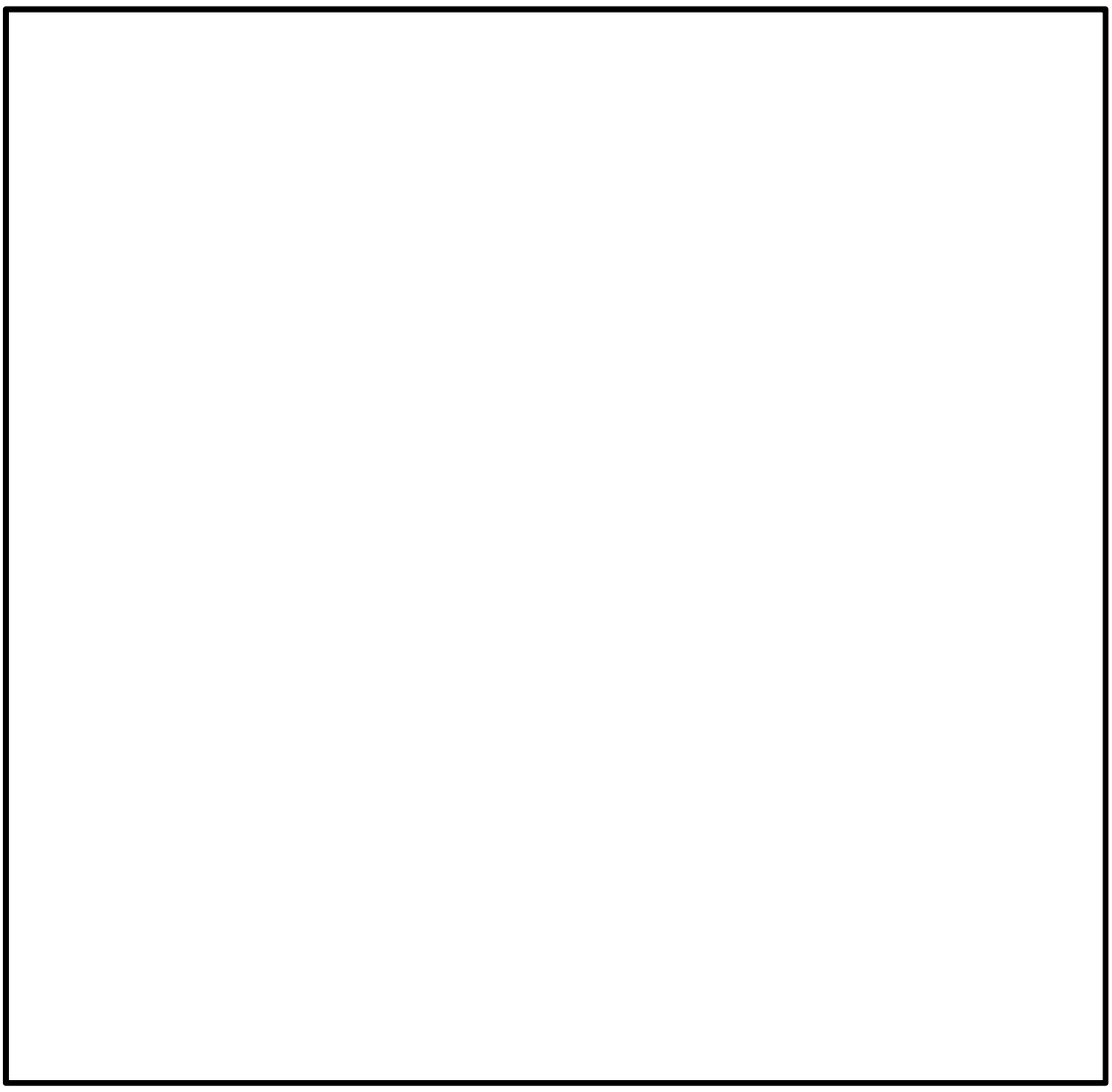


図3-3　サービス建屋と原子炉建屋の境界部断面図

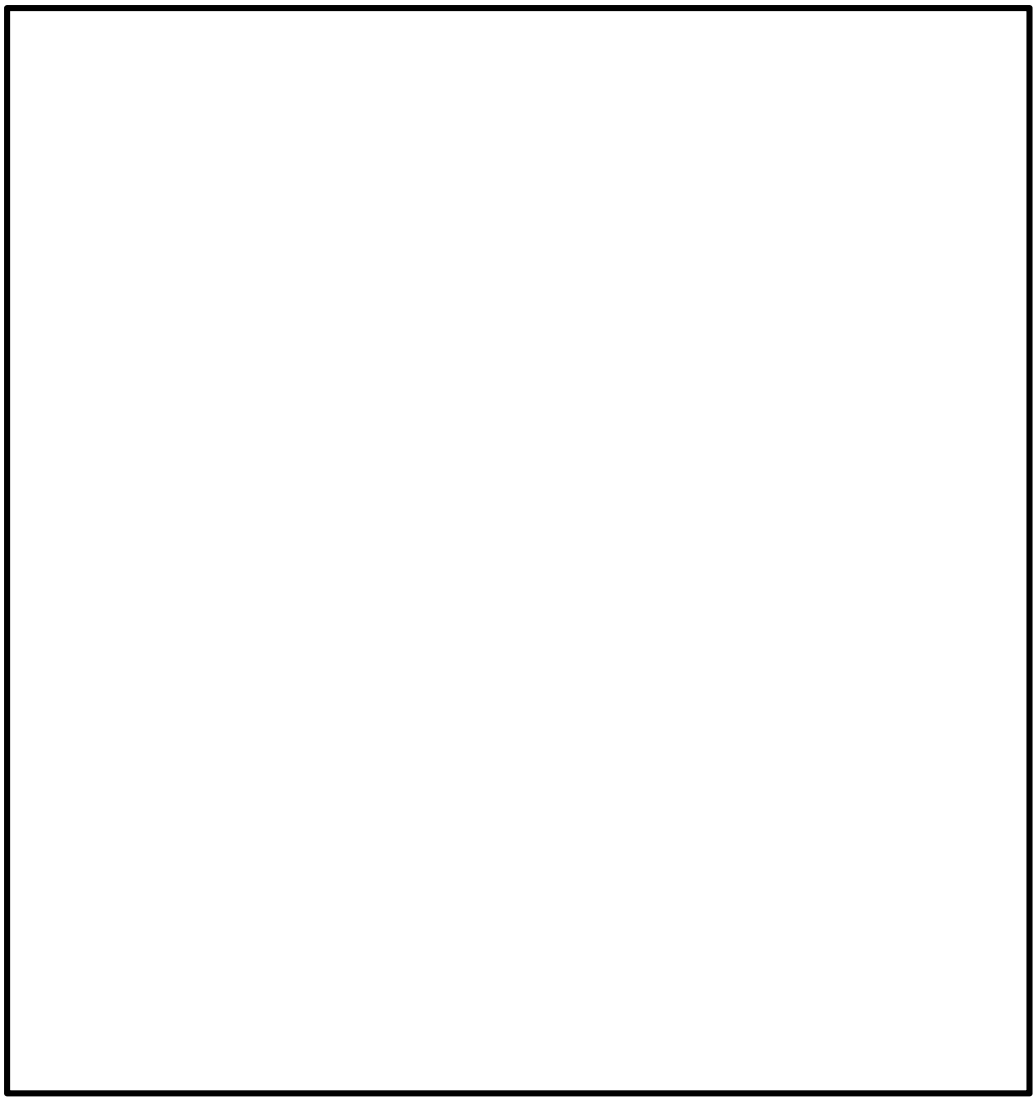


図3-4　サービス建屋とタービン建屋の境界部断面図

(2)　海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」を踏まえて，評価内容に応じて設定する。

海水ポンプエリア防護壁の鉄筋コンクリート壁及び鉄骨架構の変形に対する許容限界は，海水ポンプエリア防護壁の鉄筋コンクリート壁並びに鉄骨架構と近接する外部事象防護対象施設との最小離隔距離（図2-5(4/4)参照：約 [redacted] mm）からは，海水ポンプエリア防護壁の各部位が崩壊しなければ波及的影響は生じないと考えられるが，弾性限界内の変形に留めることで，外部事象防護対象施設との離隔を確実に維持できる設計とする。

海水ポンプエリア防護壁に対する許容限界を表3-6に，その許容応力度を表3-7に示す。

表 3-6　許容限界（海水ポンプエリア防護壁）

評価項目		許容限界
躯体の変形	RC 造部（エリア②～⑤，⑧） 鉄骨架構部（エリア⑧）	短期許容応力度

表 3-7　鉄筋コンクリートの仕様及び許容応力

評価項目			短期許容応力度 (N/mm^2)
コンクリート	設計基準強度 24 N/mm^2	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	13.5*1
		許容せん断応力度 τ_{a1}	0.67*2
鉄筋	SD345*1	許容曲げ引張応力度 σ_{sa2}（軸方向鉄筋）	294
		許容曲げ引張応力度 σ_{sa2}（せん断補強筋）	294
アンカー	SD345*1	許容引張耐力	Min(p_{a1}, p_{a3})*2, *3

注記　＊1：斜め引張鉄筋を考慮する場合は，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（(社) 土木学会　2002 年制定)」に準拠し，次式により求められる許容せん断力（V_a）をに対し，1.5 の割増係数を考慮した短期許容せん断力を許容応力とする。

$V_a = V_{ca} + V_{sa}$

ここで，

V_{ca}：コンクリートの許容せん断力

$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$

V_{sa}：斜め引張鉄筋の許容せん断力

$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa2} \cdot j \cdot d / s$

τ_{a1}：斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度

b_w：有効幅

j：1／1.15

d：有効高さ

A_w：斜め引張鉄筋断面積

σ_{sa2}：鉄筋の許容引張応力度

s：斜め引張鉄筋間隔

＊2：単位は N

＊3：$p_{a1} = \phi_1 \cdot {}_s\sigma_{pa} \cdot {}_{sc}a$

ここで，ϕ_1，ϕ_3は低減係数で短期荷重であるから，

$\phi_1 = 1.0$，$\phi_3 = 2/3$ とし，

さらに，

${}_s\sigma_{pa} = {}_s\sigma_y$

$l_{ce} = l_e - 2d_a$

$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$

$\tau_{bavg} = 10\sqrt{Fc/21}$

鋼構造部の許容限界を表3-8に，許容応力を表3-9に示す。

表3-8　鋼構造部の許容限界

許容応力状態	許容限界*（ボルト以外）				許容限界*（ボルト等）	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
ⅢAS	1.5 f_t	1.5 f_s	1.5 f_c	1.5 f_b	1.5 f_t	1.5 f_s

注記　＊：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

表 3-9　鋼構造部の使用材料の許容応力

評価部材	材料（寸法:mm）	温度条件（℃）		S_y (MPa)	S_u (MPa)	許容応力 (N/mm^2)			
						1.5 f_t	1.5 f_s	1.5 f_c	1.5 f_b
架構	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400	245	141	＊1	＊2
	SM400 (t≦16)			245	400	245	141		
	SM570 (t≦16)			460	570	399	230		
アンカーボルト	S45C（焼入焼戻材）			490	690	289	223	－	－

注記　＊1：f_cはJSME S NC1-2005/2007　SSB-3121.1(3)の規定に基づき算出する。
　　＊2：f_bは JSME S NC1-2005/2007　SSB-3121.1(4)の規定に基づき算出する。

(3)　鋼製防護壁

鋼製防護壁については，上部工に作用する基準津波の荷重に対し健全性が維持されるため，竜巻の風荷重が基準津波の荷重に包絡されていれば，竜巻によって鋼製防護壁が倒壊することはない。

比較対象とする基準津波の荷重を表3-10に，鋼製防護壁と外部事象防護対象施設の位置関係を図3-5に示す。

表 3-10　比較値（鋼製防護壁）

評価項目		比較値	
鋼製防護壁	上部工への風荷重	上部工天端における津波荷重 （基準津波時）	68.2 kN/m^2

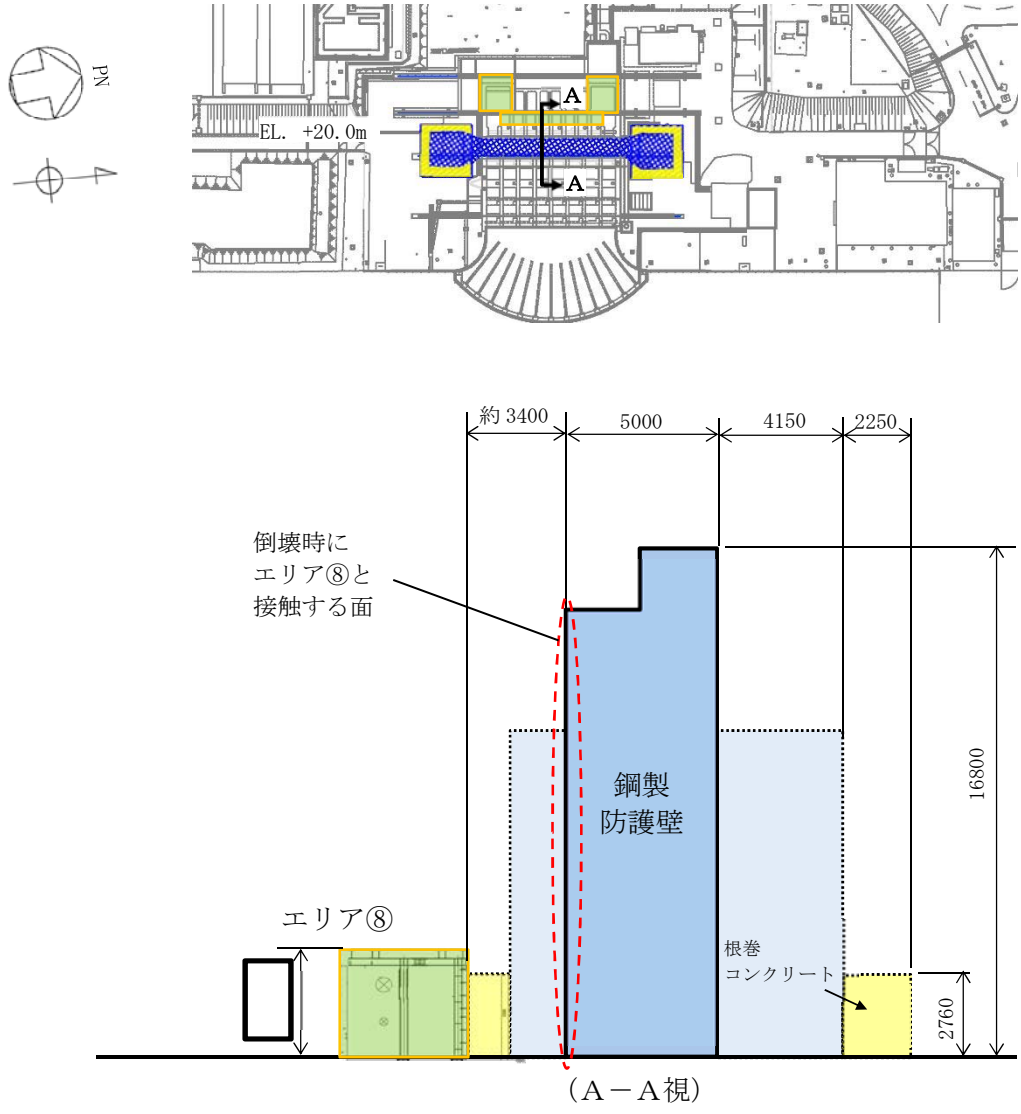


図 3-5　鋼製防護壁と防護対象の位置関係

3.5　評価方法

(1)　サービス建屋（原子炉建屋及びタービン建屋を含む）

サービス建屋の躯体の変位は，設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力－変位関係（Q－δ関係）より算定する。

サービス建屋の解析モデル図を図3-6に示す。解析モデルは，添付書類「Ⅴ-2-11-2-14 サービス建屋の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを用いる。原子炉建屋はサービス建屋の東側，タービン建屋はサービス建屋の北側に位置するため，EW方向及びNS方向を検討対象とする。

設計荷重のうち，風圧力による荷重W_Wは，建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重W_Pは，建屋の内部から外部に作用することから，建屋層全体の評価においては相殺されるが，保守的にW_Wの作用方向のみに作用するものとして考慮する。

飛来物による衝撃荷重W_Mは，瞬間的な荷重であり，かつサービス建屋は飛来物に対し十分に大きな質量を有することを考慮すると，建屋層全体の変形への設計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから，考慮しない。

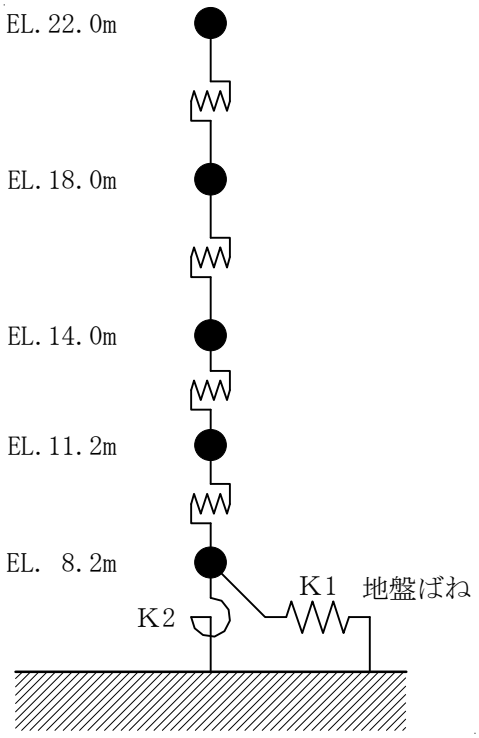


図3-6　サービス建屋の解析モデル図

原子炉建屋及びタービン建屋の変位は，設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力－せん断ひずみ関係（Q－γ関係）より算定する。

原子炉建屋及びタービン建屋のせん断力－せん断ひずみ関係（Q－γ関係）は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1-1　竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」の「3.5.3　変形評価」に示すものを用いる。

設計荷重のうち，風圧力による荷重W_Wは，建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重W_Pは，建屋の内部から外部に作用し，建屋層全体の評価においては相殺されるが，保守的に，風圧力による荷重W_Wの加力方向にのみ作用するものとする。

飛来物による衝撃荷重W_Mは，瞬間的な荷重であり，かつ原子炉建屋及びタービン建屋は飛来物に対し十分に大きな質量を有することを考慮すると，建屋層全体の変形への設計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから考慮しない。

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の変位は，評価対象の各エリアの構造モデルに竜巻荷重を入力することにより算定する。

海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図について，図3-7に示す。

解析モデルは，添付書類「Ⅴ-2-11-2-11　海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを用いる。エリア②～⑤の版状のＲＣ構造部のモデル化においては，「コンクリート標準示方書」に基づき，高さに対し幅が2.5倍以上の箇所をはりモデル，それ以下の部分を3辺固定スラブモデルと設定した。

また，エリア⑧のＲＣ造躯体については，片持ちはりモデルとして評価する。エリア②～⑤のネット用架構及びエリア⑧の鉄骨架構は，構成部材をはり要素にてモデル化した3次元フレームモデルとする。

海水ポンプエリア防護壁は海水ポンプ室を囲う様に設置されるため，EW方向及びNS方向を検討対象とする。

設計荷重のうち，風圧力による荷重W_Wは，海水ポンプエリア防護壁の各エリアの形状を考慮して算出した風力係数に基づき算出する。

気圧差による荷重W_Pについては，海水ポンプエリア防護壁の各エリアは開放された区画となっているため考慮しない。

飛来物による衝撃荷重W_Mについては，エリア②～⑤では，その区画を構成する海水ポンプ室躯体が設計飛来物に対し十分大きな質量を有することを考慮すると，波及的影響の検討対象である躯体の全体的な変形に対する設計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから，考慮しない。エリア⑧についても，当該部の質量は飛来物に対し十分に大きく，また当該部は頑健な海水ポンプ室躯体に支えられた構造となっていることから，瞬間的に作用する飛来物の衝突荷重のみで当該部の全体的な倒壊を起こすことは考え難いが，鉄骨造の構造物において衝突による架構構成部位（鉄骨）の損傷を生じた場合には，ＲＣ造に比べ健全部材への荷重の再配分が大きいと考えられるため，その後に作用する自重若しくは風荷重により倒壊しないことの確認として，飛来物の衝突荷重を，柱の一本を喪失したものと置き換えたモデルとして考慮する。

ここで，エリア⑧と鋼製防護壁は近接しており，エリア⑧の東面に飛来物が深い入射角で衝突することは考え難いため，飛来物は南北方向に飛翔するものを考慮した上で，エリア⑧の南壁及び北壁の構造も踏まえ，飛来物の衝突箇所を，エリア⑧の南端の柱と設定した。

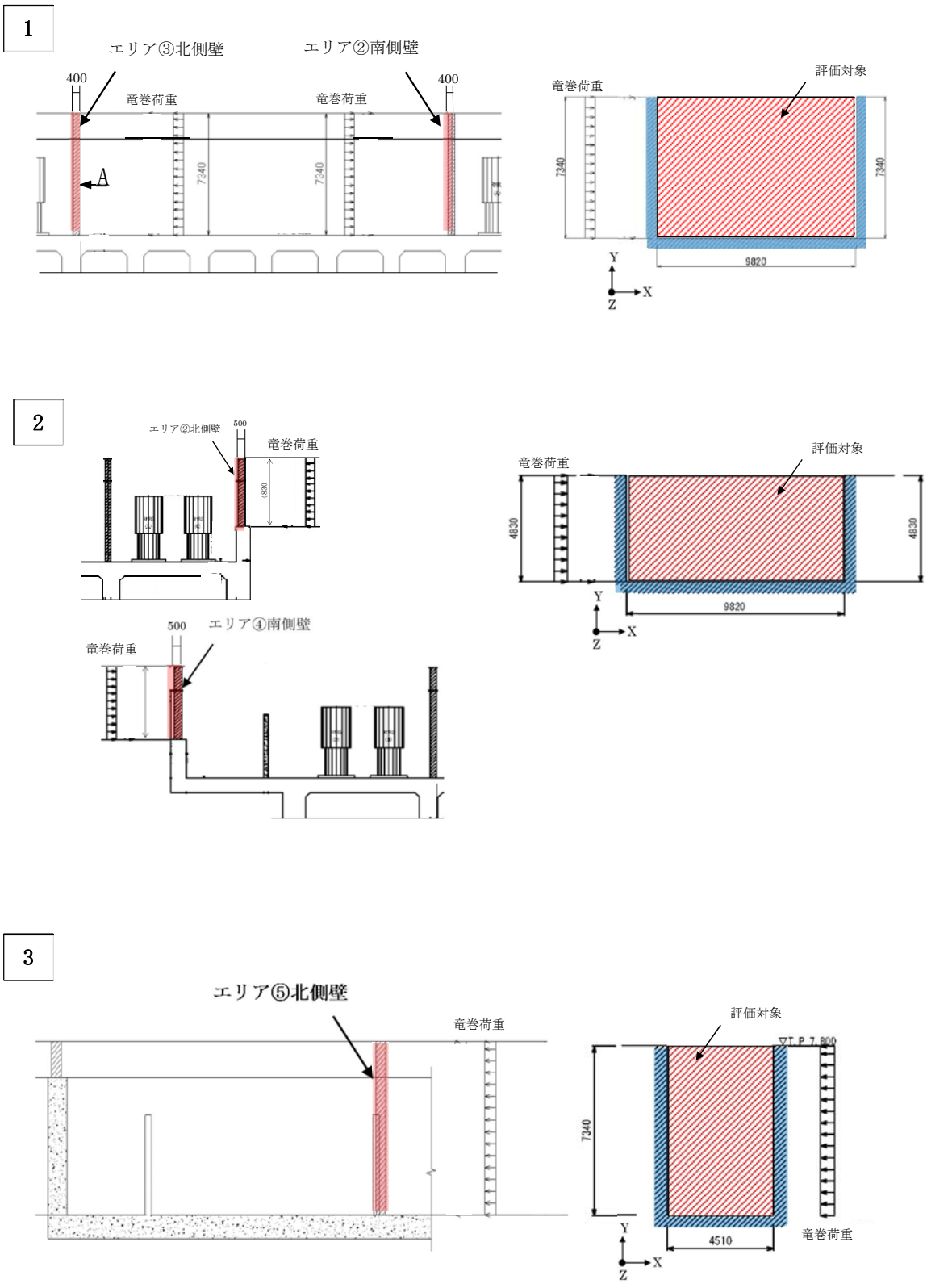


図3-7　海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図（1/6）

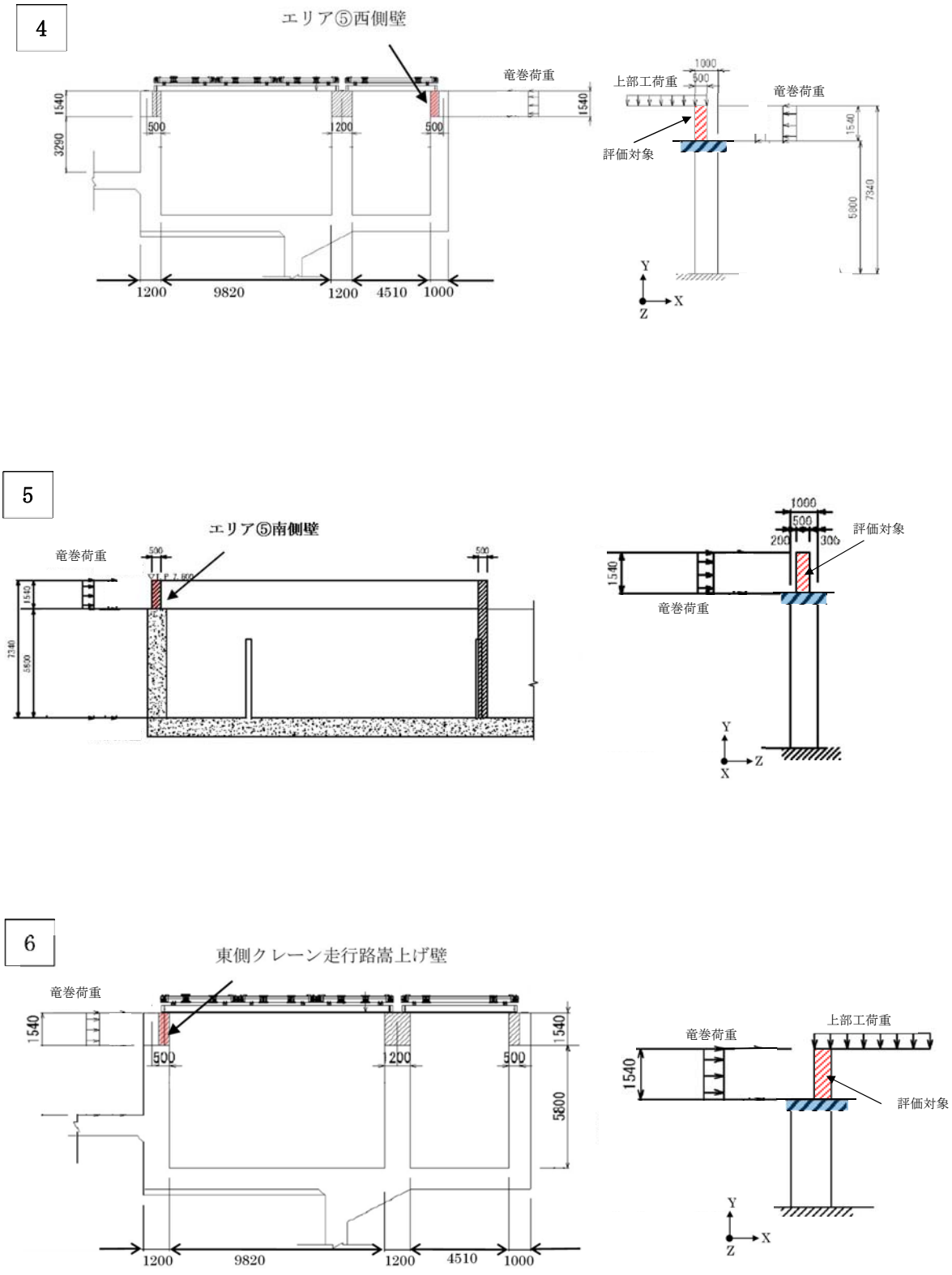


図3-7　海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図（2/6）

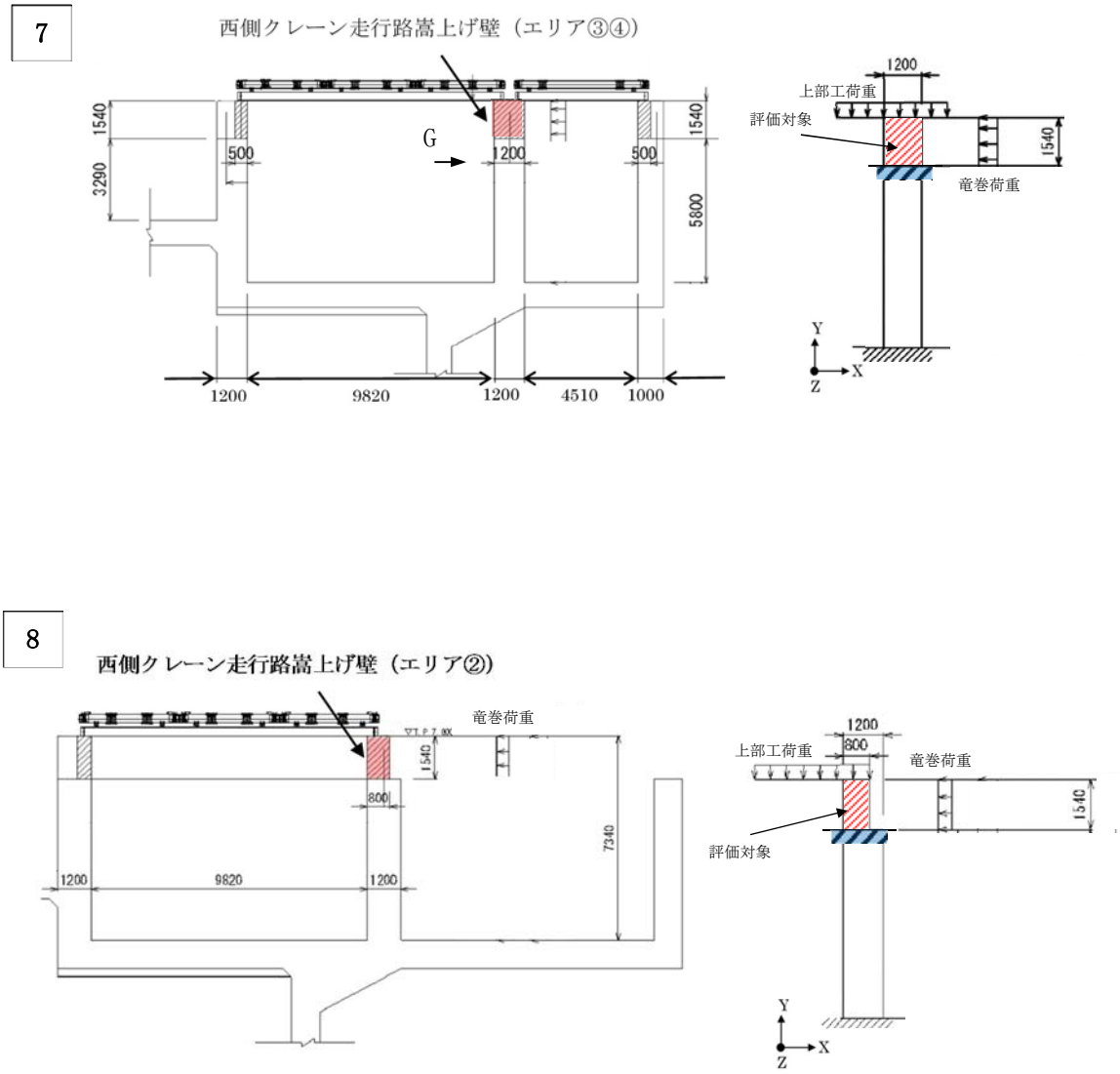
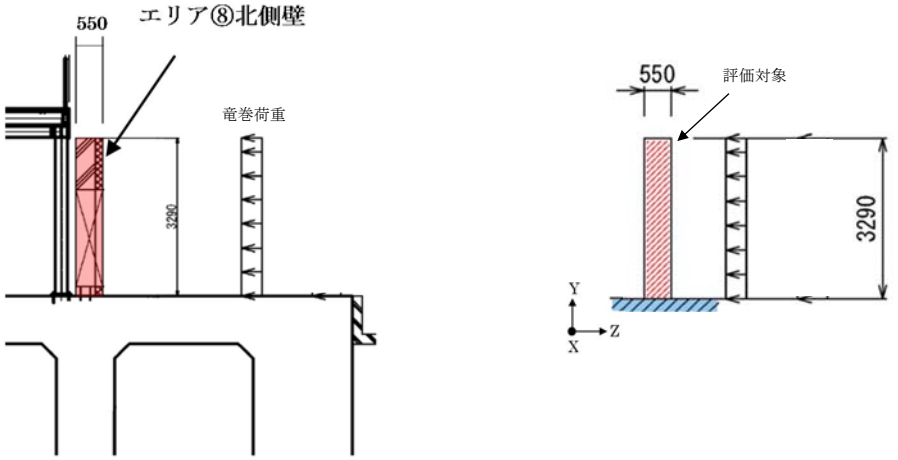


図3-7　海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図（3/6）

9



10

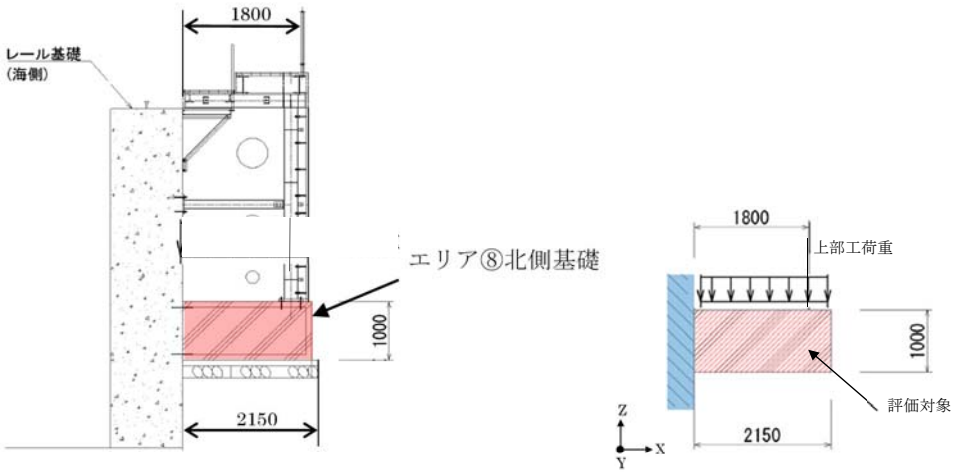
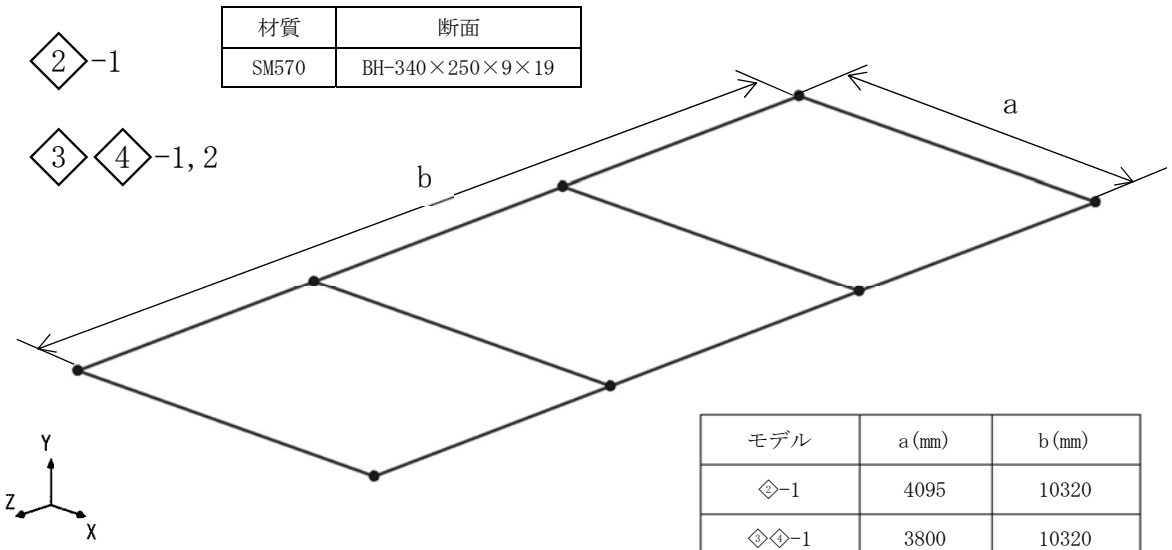


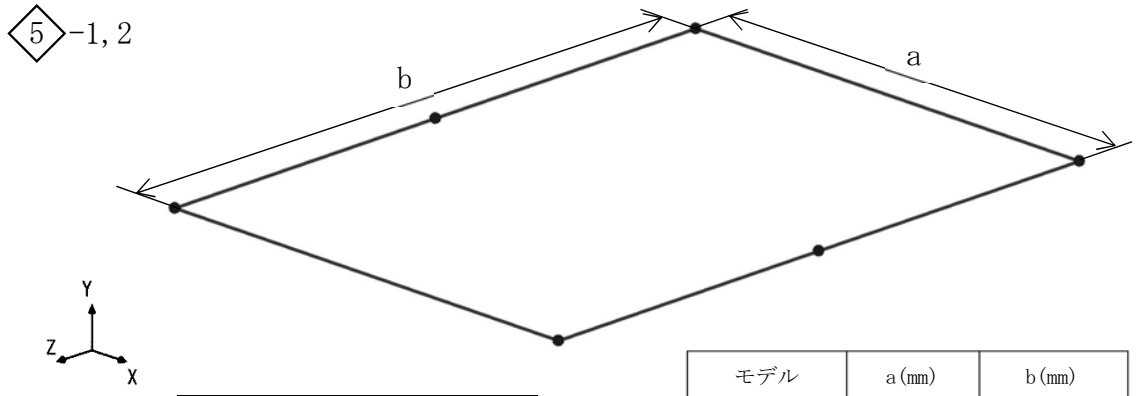
図 3-7　海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図（4/6）



材質	断面
SM570	BH-340×250×9×19

モデル	a(mm)	b(mm)
②-1	4095	10320
③④-1	3800	10320
③④-2	3720	10320

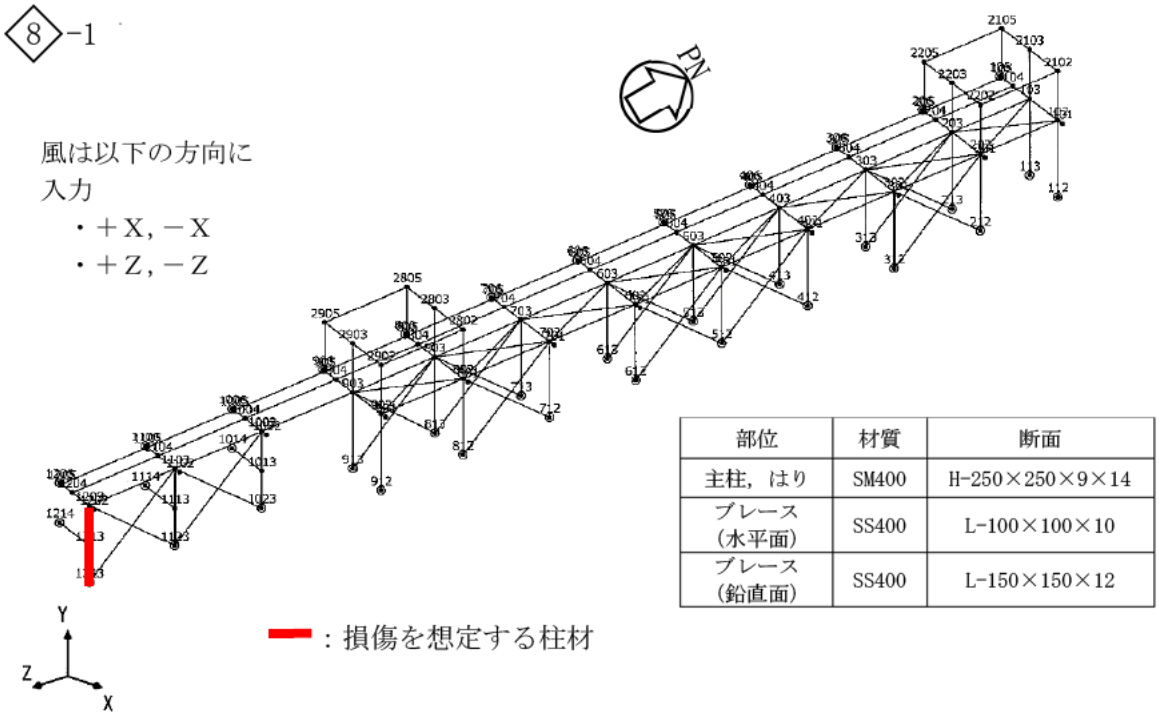
風は以下の方向に入力
・＋X，－X
・＋Z，－Z



材質	断面
SM570	BH-340×250×9×16

モデル	a(mm)	b(mm)
⑤-1	3800	5010
⑤-2	3690	5010

図3-7　海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図（5/6）



部位	材質	断面
主柱，はり	SM400	H-250×250×9×14
ブレース（水平面）	SS400	L-100×100×10
ブレース（鉛直面）	SS400	L-150×150×12

＜⑧-1 への飛来物衝突方向について＞

⑧-1 について，
・東側はごく近傍に鋼製防護壁があり，飛来物は東からの侵入不可。
・西側は，上部の防護ネット部以外は海水ポンプ室に隠れている
・北側はコンクリート壁によって柱が隠れている。

主要な柱に対し，飛来物は南方向からのみ衝突し得る。

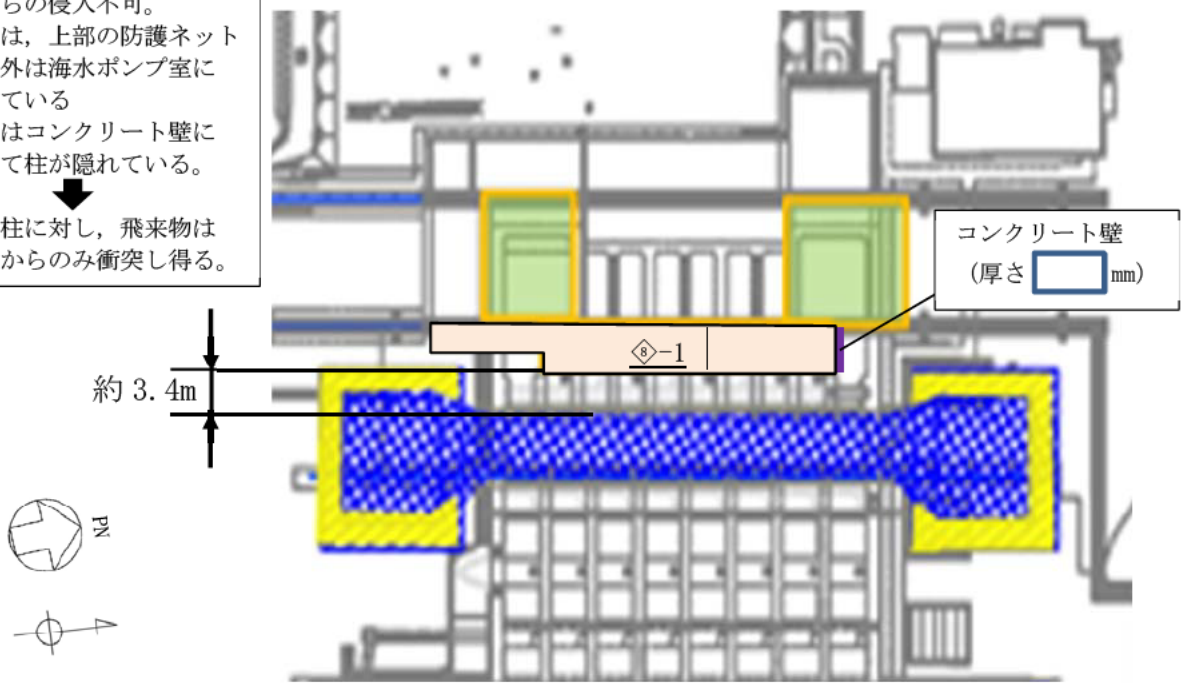


図3-7　海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図（6/6）

鉄筋コンクリートの部材に対し，片持ちはりモデルについてははりの理論式で，また3辺固定スラブモデルについては，図3-8に示す日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（日本建築学会 2010）の付図により断面力（曲げモーメント及びせん断力）を算出する。

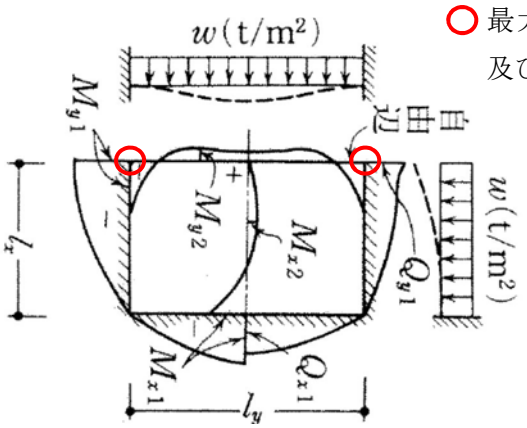


図3-8　3辺固定スラブモデルに発生する断面力の理論モデル及び算出式

算出した断面力に対する，ＲＣ部（躯体及び基礎）の応力計算方法を表3-11に示す。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-43　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＲＣ断面計算」に示す。

表3-11　ＲＣ部（躯体及び基礎）の応力計算方法

応力の種類	単位	応力計算
コンクリート圧縮応力 σ_c	N/mm^2	解析コード「ＲＣ断面計算」により算出
鉄筋の引張応力 σ_s	N/mm^2	
鉄筋の圧縮応力 σ_s’	N/mm^2	
せん断応力 τ	N/mm^2	

鉄骨架構のフレームモデルに対しては，解析コード「Ｅｎｇｉｎｅｅｒ’ｓ　Ｓｔｕｄｉｏ」を使用し，断面力及び反力を求め，表3-12及び表3-13に示す式に基づき架構部材及びアンカーボルトの応力を算出する。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-39　計算機プログラム（解析コード）の概要・Ｅｎｇｉｎｅｅｒ’ｓ　Ｓｔｕｄｉｏ」に示す。

表3-12　架構の応力計算式

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		N/mm^2	$\frac{N_t}{A}$
圧縮応力 σ_c		N/mm^2	$\frac{N_c}{A}$
曲げ応力 σ_b		N/mm^2	$\frac{M_y}{Z_y}$ ， $\frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		N/mm^2	$\frac{Q_y}{A_{sy}}$ ， $\frac{Q_z}{A_{sz}}$
組合せ応力	圧縮＋曲げ	—	$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5f_c}+\frac{\sigma_{bx}+\sigma_{by}}{1.5f_b} \ , \ \frac{\sigma_{bx}+\sigma_{by}-\sigma_c}{1.5f_t}\right)$
	引張＋曲げ	—	$\max\left(\frac{\sigma_t+\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_t} \ , \ \frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_t}{1.5f_b}\right)$
	曲げ＋せん断	—	$\max\left(\frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_z^2}}{1.5f_t} \ , \ \frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_y^2}}{1.5f_t}\right)$ 軸力が引張の場合は，σ_cをσ_tとする。

ここで，

A　　：断面積(mm)
Z_y，Z_z　　：断面係数(y，z 軸回り)(mm)
A_{sy}，A_{sz}　　：せん断断面積(y，z)(mm)
N_t，N_c　　：軸力(引張，圧縮)(N)
M_y，M_z　　：曲げモーメント(y，z 軸回り)(N・mm)
Q_y，Q_z　　：せん断力(y，z 軸)(N)

表3-13　ボルトの応力計算式

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 σ_t	N/mm^2	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ	N/mm^2	$\frac{\sqrt{F_y^2+F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	—	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで，

F_x，F_y，F_z　　：引張力(x 軸)，せん断力(y 軸，z 軸)(N)
A_b　　：ボルトの断面積(mm^2)

(3)　鋼製防護壁

飛来物による衝撃荷重W_Mについては，鋼製防護壁が設計飛来物に対し十分大きな質量を有することを考慮すると，波及的影響の検討対象である躯体の全体的な変形に対する設

計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから考慮しない。また，構造的に竜巻による気圧低下が鋼製防護壁を東方向から押す様に作用する事も考え難い。

このため，鋼製防護壁に作用するのは風圧力による荷重のみとなるので，この風荷重が，設計上健全性が確認された津波荷重に包絡されていることを確認する。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を以下に示す。

4.1 サービス建屋

サービス建屋の東側に原子炉建屋，サービス建屋の北側にタービン建屋が隣接しているため，風圧力による荷重W_Wが西から東へ作用する場合及び南から北へ作用する場合の検討を実施する。サービス建屋に作用する風圧力による荷重W_Wの作用方向の模式図を図4-1に，サービス建屋の風圧力による荷重W_Wの算出条件を表4-1に示す。サービス建屋の風下側壁面は，原子炉建屋及びサービス建屋が接近して配置されており，実際には風下側壁面には風荷重が作用しないと考えられるが，本評価では保守的に風下側の風荷重も考慮するものとする。

また，サービス建屋の復元力特性諸元を表4-2に示す。

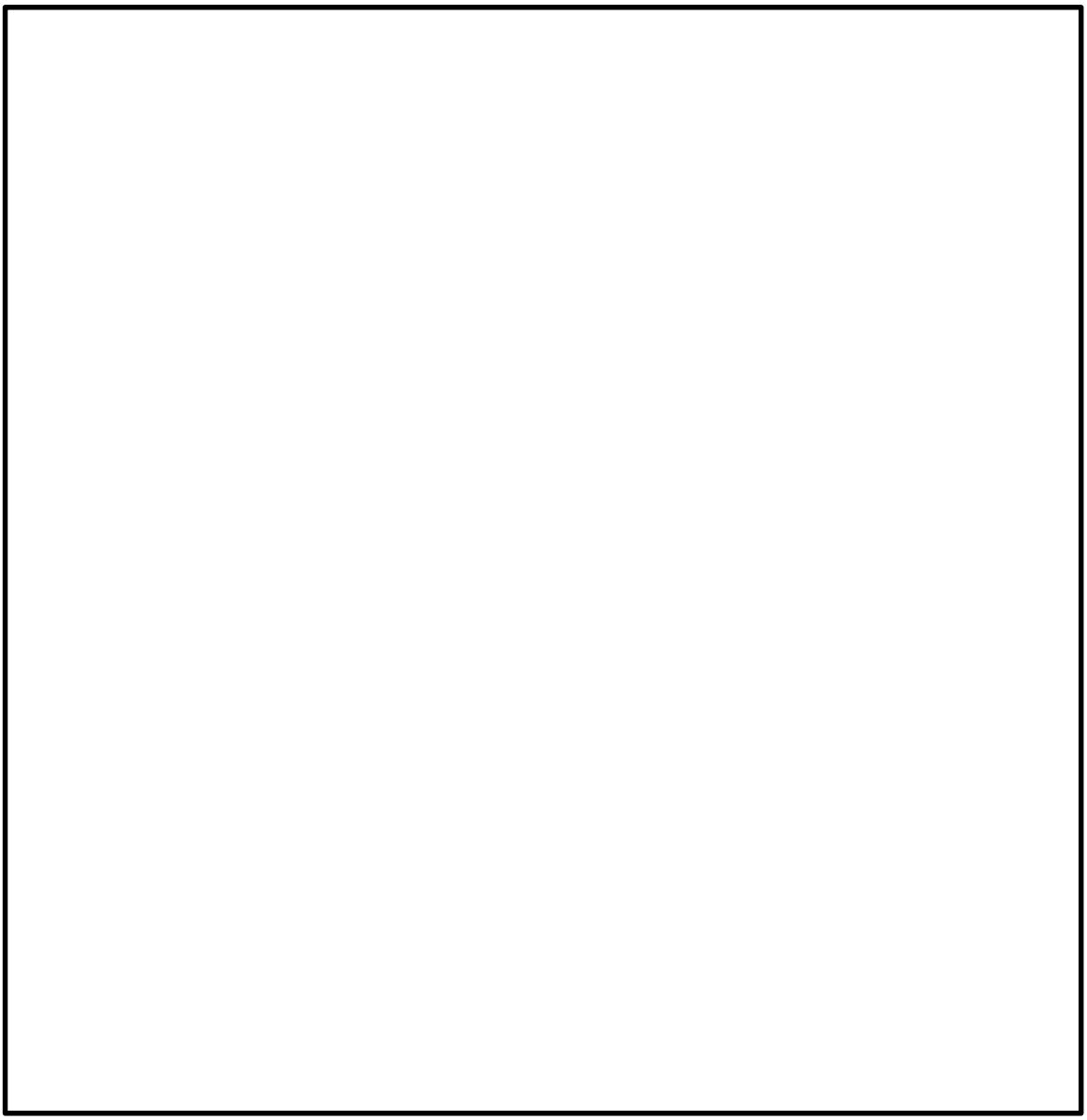


図4-1 サービス建屋への風圧力による荷重W_Wの作用方向模式図

NT2 補② V-3-別添 1-1-10-1 R10

表4-1 [redacted]の風圧力による荷重W_Wの算出条件

EL. (m)	位置	風力係数 C *1	受圧面積A (m^2) EW方向 (W⇒E)	受圧面積A (m^2) NS方向 (S⇒N)
22.0 ～ 18.0	風上	0.8	270*2	157*2
	風下	0.4		
18.0 ～ 14.0	風上	0.8	161	80
	風下	0.4		
14.0 ～ 11.2	風上	0.8	113	56
	風下	0.4		
11.2 ～ 8.2	風上	0.8	129	64
	風下	0.4		

注記　*1：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。
　　*2：EL.22.0以上の部分を含む。

表 4-2(1/2) [redacted]の復元力特性諸元（EW 方向）

EL. (m)	要素 番号	Q_1 (kN)	Q_2 (kN)	Q_3 (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	δ_3 (mm)
22.0 ～ 18.0	1	1450	21600	23000	0.170	9.80	40.0
18.0 ～ 14.0	2	2940	30500	33700	0.321	12.2	40.0
14.0 ～ 11.2	3	3090	45000	47600	0.0859	6.50	28.0
11.2 ～ 8.2	4	2660	51400	54300	0.0734	7.50	30.0

表 4-2(2/2) [redacted]の復元力特性諸元（NS 方向）

EL. (m)	要素 番号	Q_1 (kN)	Q_2 (kN)	Q_3 (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	δ_3 (mm)
22.0 ～ 18.0	1	2870	17800	18700	0.388	10.4	40.0
18.0 ～ 14.0	2	3370	28000	29400	0.294	9.10	40.0
14.0 ～ 11.2	3	7520	37400	39300	0.240	6.40	28.0
11.2 ～ 8.2	4	12400	37100	38700	0.490	9.40	30.0

原子炉建屋及びタービン建屋の風圧力による荷重W_Wの算出条件及び復元力特性諸元については，添付書類「V-3-別添1-1-1　竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」の「3.5.3　変形評価」に示す。

4.2　海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の各エリアは南北及び東西方向に設置されており，その内部に外部事象防護対象施設が設置されているため，風圧力による荷重W_Wが西から東へ作用する場合及び北から南へ作用する場合の検討を実施する。海水ポンプエリア防護壁に作用する風圧力による荷重W_Wの作用方法は図3-5に示すとおり。

鉄骨架構部に対する海水ポンプエリア防護壁の発生荷重の算出条件を表4-3に示す。

表4-3　海水ポンプエリア防護壁の発生荷重の算出条件（鉄骨架構部）

エリア		風力係数C (－)	風荷重W_W (kN/m^2)
◇②-1		1.0	6.1
◇③◇④-1		1.0	6.1
◇③◇④-2		1.0	6.1
◇⑤-1		1.0	6.1
◇⑤-2		1.0	6.1
◇⑧-1	水平	1.0	6.1
	上向き	1.0*	6.1

注記　＊1：◇⑧-1の天板は鋼板部分が大部分を占めるため，吸上げによる上向き荷重を考慮する。他箇所はネットのため，上向きの荷重は考慮しない。

鉄骨架構の部材の仕様を表4-4に示す。

表4-4　鉄骨架構の部材の仕様

仕様	材質	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比 (－)
BH-340×250×9×19	SM570	205000	0.3
BH-340×250×9×16	SM570		
H-250×250×9×14	SM400		
L-150×150×12	SS400		
L-100×100×10	SS400		

ＲＣ壁に発生する荷重を表4-5及び表4-6に示す。

表4-5　海水ポンプエリア防護壁の発生荷重（ＲＣ部：3辺固定スラブモデル）

部位	風力係数 C (－)	風荷重 W (kN/m^2)	スラブ寸法		モーメント* (kN･m)	軸力* (kN)	せん断力* (kN)
			Lx(m)	Ly(m)			
①	1.0	6.100	9.820	7.340	-50	72	32
②	1.0	6.100	9.820	4.830	-41	59	28
③	1.0	6.100	7.340	4.510	-10	90	14

注記　＊：モーメント及びせん断力が最大となる箇所の値を示す。

表4-6　海水ポンプエリア防護壁の発生荷重（ＲＣ部：片持ちはりモデル）

エリア	風力係数C	梁寸法(m)			モーメント (kN･m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
		長さ	高さ	幅*1			
④	1.0	1.540	0.500	1.000	16	27	14
⑤	1.0	1.540	0.500	1.000	7	19	9
⑥	1.0	1.540	0.500	1.000	16	34	14
⑧	1.0	1.540	0.800	1.000	16	45	14
⑨	1.0	3.290	0.550	1.000	-33	44	20
⑩	1.0	2.150	1.000	1.000	131	－*2	94

注記　＊1：単位幅のはりとして評価

＊2：構造上軸力を受けない

4.3　鋼製防護壁

鋼製防護壁の西側に海水ポンプ室が隣接して設置されているため，風圧力による荷重W_Wが東から西へ作用する場合の検討を実施する。鋼製防護壁に作用する風圧力による荷重W_Wの作用方法を図4-2に，鋼製防護壁の風圧力による荷重W_Wの算出条件を表4-7に示す。

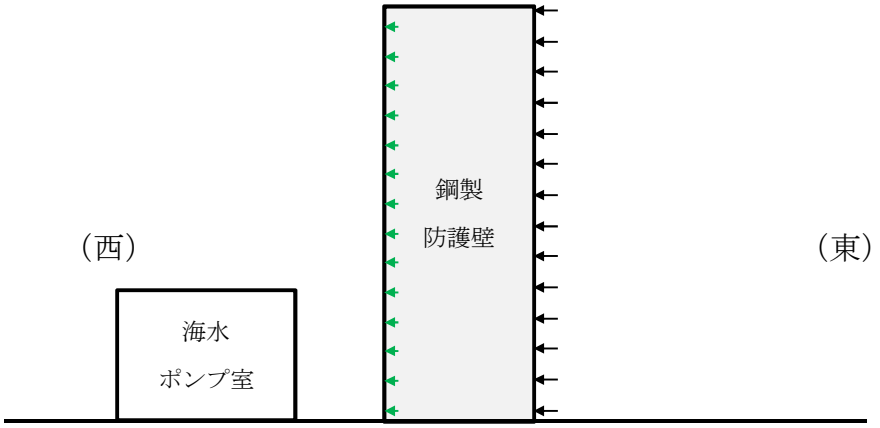


図4-2　風圧力による荷重W_Wの作用方法（鋼製防護壁）

表4-7　鋼製防護壁の風圧力による荷重W_Wの算出条件

項目	記号	単位	備考
風力係数	1.0	－	「建築物荷重指針・同解説」を参照
見付面積	1	m^2	単位面積当たりの荷重で評価

5. 強度評価結果

5.1 サービス建屋

サービス建屋と原子炉建屋の相対変位及びサービス建屋とタービン建屋の相対変位の評価結果を表5-1及び表5-2に示す。原子炉建屋及びタービン建屋と隣接する点の変位に基づく相対変位が，許容限界を超えないことを確認した。

表5-1 [redacted]の相対変位の評価結果

複合荷重	EL. (m)	設計荷重による最大変位（mm） [redacted]		最大相対変位* (mm)	許容限界 (mm)
W_{T1}	22.0	2.3	0.3	2.6	50
W_{T2}	22.0	3.8	0.3	4.1	50

注記 ＊：保守的に，各建屋の最大変位をお互いが接近する方向に加算したものとする。

表5-2 [redacted]の相対変位の評価結果

複合荷重	EL. (m)	設計荷重による最大変位（mm） [redacted]		最大相対変位* (mm)	許容限界 (mm)
W_{T1}	22.0	0.6	0.4	1.0	50
W_{T2}	22.0	0.8	0.5	1.3	50

注記 ＊：保守的に，各建屋の最大変位をお互いが接近する方向に加算したものとする。

5.2 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁に作用する竜巻荷重により発生する応力の評価結果を表5-3及び表5-4に示す。発生する応力は許容限界以下であることを確認した。

表5-3　海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果（鉄骨造部）

（単位：N/mm²）

評価部位			発生応力	許容限界	備考
◇②-1 ◇③◇④-1 ◇③◇④-2	鉄骨架構	曲げ（強軸＋弱軸）	0.19	1	応力比
		せん断	10	230	
	アンカーボルト	せん断	11	223	
◇⑤-1 ◇⑤-2	鉄骨架構	曲げ（強軸＋弱軸）	0.10	1	応力比
		せん断	4	230	
	アンカーボルト	せん断	32	223	
◇⑧-1	鉄骨架構	軸力※＋せん断	0.20	1	応力比 ※圧縮＋曲げ
		圧縮＋曲げ	0.19	1	応力比
		せん断	29	141	
		引張	4	245	
		圧縮	5	156	
	アンカーボルト	引張	4	289*	
		せん断	33	223	

注記　＊：Min(1.4×1.5f_t-1.6×τ，1.5f_t)より算出

表 5-4　海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果（ＤＢ条件：ＲＣ造躯体)(1/2)

（単位：N/mm²）

評価部位			発生応力	許容限界
1	エリア②南側壁， エリア③北側壁	圧縮（コンクリート）	3.8	13.5
		引張（鉄筋）	114	294
		せん断(コンクリート)	0.12	0.67*
		引張（アンカー）	33.7 kN	83.8 kN
2	エリア④南側壁 (エリア②北側壁)	圧縮（コンクリート）	2.1	13.5
		引張（鉄筋）	85	294
		せん断(コンクリート)	0.08	0.67*
		引張（アンカー）	17.2 kN	58.4 kN
3	エリア⑤北側壁	圧縮（コンクリート）	0.6	13.5
		引張（鉄筋）	28	294
		せん断(コンクリート)	0.04	0.67*
		引張（アンカー）	8.1 kN	61.2 kN

注記　＊：斜め引張鉄筋は考慮していない。

表 5-4　海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果（ＤＢ条件：ＲＣ造躯体)(2/2)

（単位：N/mm²）

評価部位			発生応力	許容限界
4	エリア⑤西側壁	圧縮（コンクリート）	0.9	13.5
		引張（鉄筋）	31	294
		せん断(コンクリート)	0.04	0.67*
		引張（アンカ―）	8.9 kN	57.5 kN
5	エリア⑤南側壁	圧縮（コンクリート）	0.4	13.5
		引張（鉄筋）	10	294
		せん断(コンクリート)	0.02	0.67*
		引張（アンカ―）	2.9 kN	64.7 kN
6	エリア③④東側壁	圧縮（コンクリート）	0.9	13.5
		引張（鉄筋）	27	294
		せん断(コンクリート)	0.04	0.67*
		せん断（アンカ―）	2.1 kN	14.6 kN
8	エリア②西側壁	圧縮（コンクリート）	0.2	13.5
		引張（鉄筋）	3	294
		せん断(コンクリート)	0.02	0.67*
		せん断（アンカ―）	1.1 kN	14.6 kN
9	エリア⑧北側壁	圧縮（コンクリート）	1.3	13.5
		引張（鉄筋）	44	294
		せん断(コンクリート)	0.05	0.67*
		引張（アンカ―）	8.8 kN	42.0 kN
10	エリア⑧南側基礎	圧縮（コンクリート）	1.5	13.5
		引張（鉄筋）	82	294
		せん断(コンクリート)	0.11	0.67*
		引張（アンカ―）	23.5 kN	58.4 kN

注記　＊：斜め引張鉄筋は考慮していない。

5.3　鋼製防護壁

鋼製防護壁に作用する竜巻荷重と津波荷重の評価結果を表5-5に示す。竜巻荷重が津波荷重に包絡されていることを確認した。

表5-5　鋼製防護壁に対する竜巻荷重と津波荷重

（単位：kN/m^2）

竜巻荷重	津波荷重
6.1	68.2

Ⅴ-3-別添 1-1-10-2　消音器の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 3
2.4 適用規格 4
3. 強度評価方法 5
3.1 記号の定義 5
3.2 評価対象部位 7
3.3 荷重及び荷重の組合せ 8
3.4 許容限界 9
3.5 評価方法 10
4. 評価条件 14
5. 強度評価結果 16

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，非常用ディーゼル発電機排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（以下「ディーゼル発電機排気消音器」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても，消音器の機能維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，ディーゼル発電機排気消音器の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

ディーゼル発電機排気消音器は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，原子炉建屋付属棟屋上面に設置する。ディーゼル発電機排気消音器の位置図を図2-1に示す。

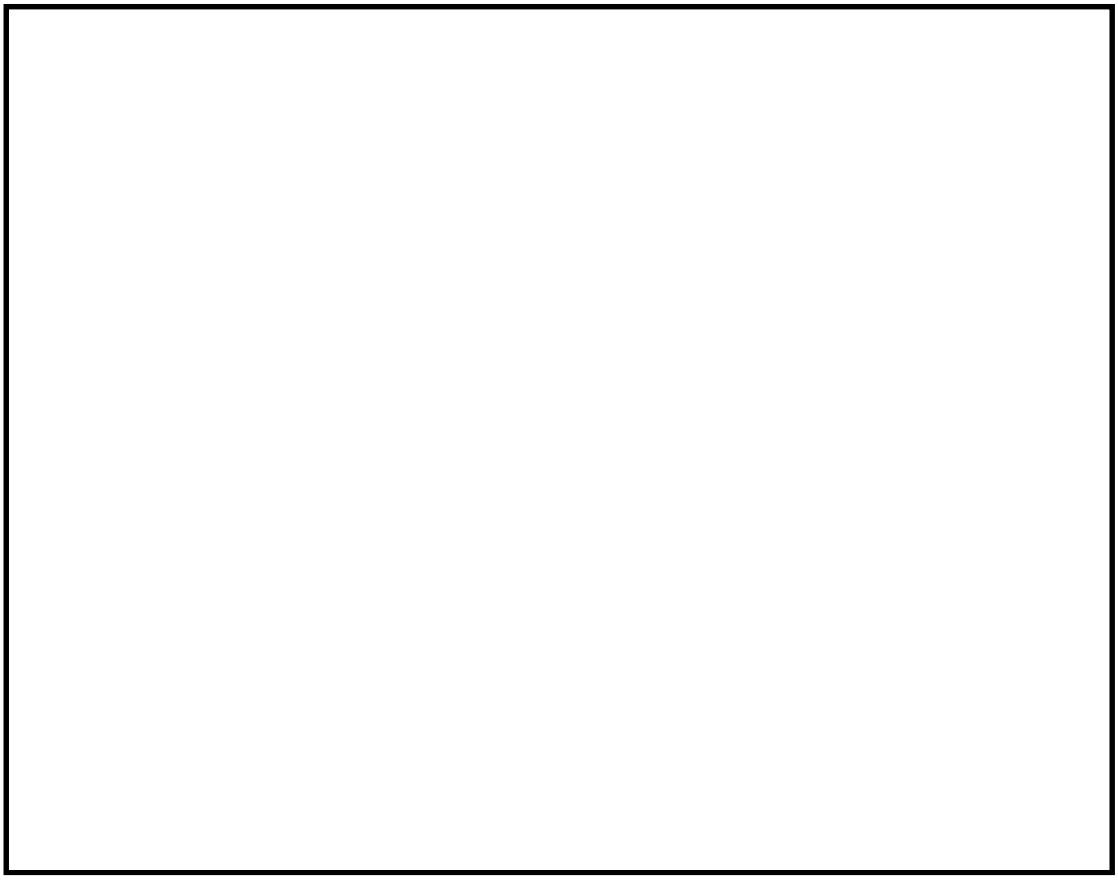


図 2-1　ディーゼル発電機排気消音器の位置図

2.2　構造概要

ディーゼル発電機排気消音器について，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

ディーゼル発電機排気消音器は原子炉建屋付属棟屋上面に設置しており，取付ボルト又は基礎ボルトにより固定している。ディーゼル発電機排気消音器の概要図を図2-2～図2-4に示す。

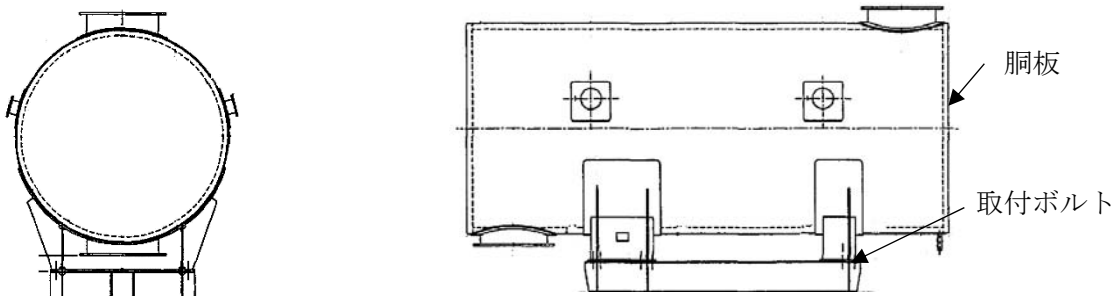


図2-2　ディーゼル発電機排気消音器概要図（非常用ディーゼル発電機２Ｃ）

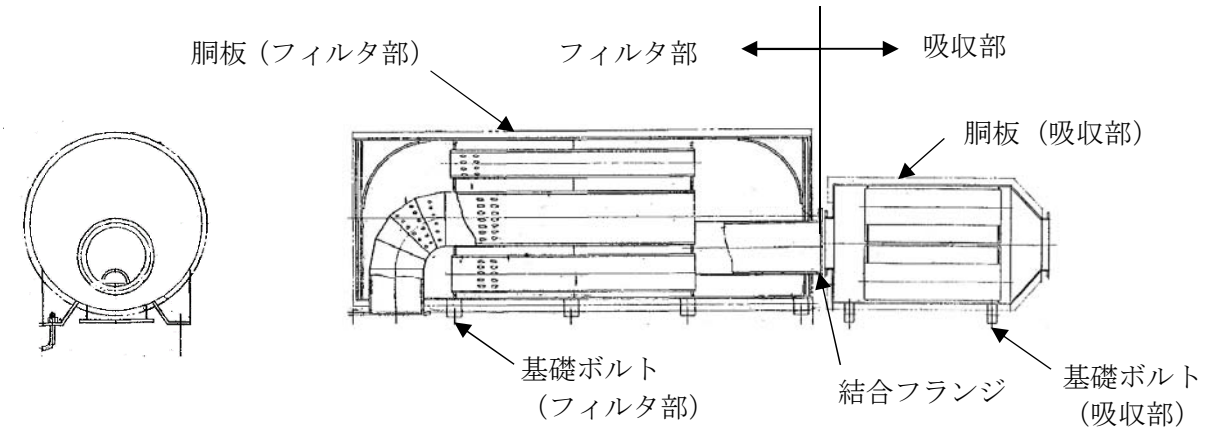


図2-3　ディーゼル発電機排気消音器概要図（非常用ディーゼル発電機２Ｄ）

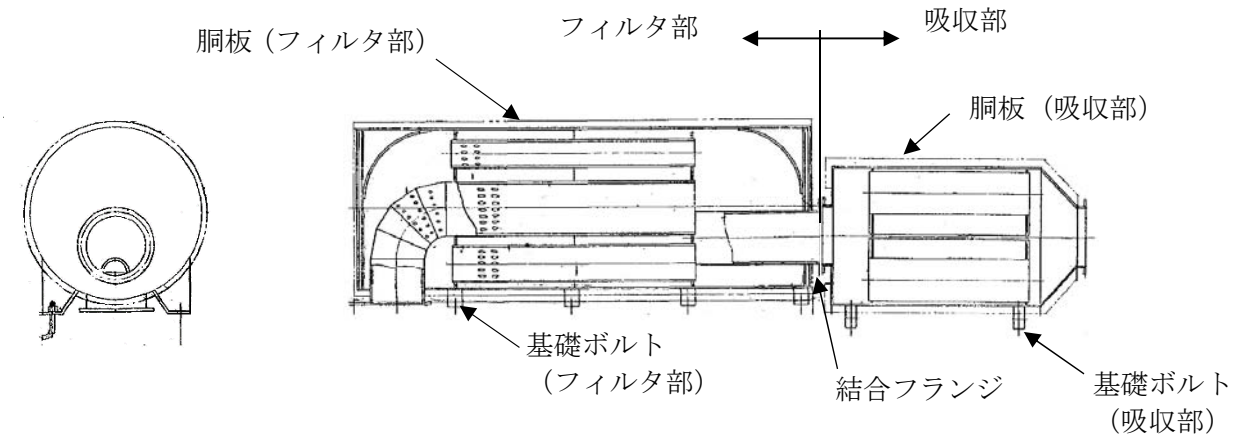


図2-4　ディーゼル発電機排気消音器概要図（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機）

2.3　評価方針

ディーゼル発電機排気消音器の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，ディーゼル発電機排気消音器の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機排気消音器の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

ディーゼル発電機排気消音器の構造強度評価フローを図2-5に示す。構造強度評価においては，ディーゼル発電機排気消音器に対して，設計竜巻による荷重に自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価には，設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

ディーゼル発電機排気消音器の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$とする。

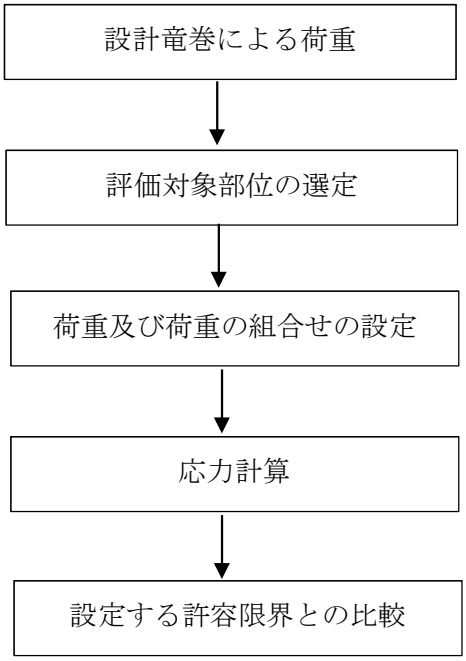


図2-5　ディーゼル発電機排気消音器の構造強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991追補版」（社）日本電気協会
・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ１-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）

3.　強度評価方法

3.1　記号の定義

ディーゼル発電機排気消音器の構造強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1　構造強度評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_A	m^2	軸方向応力評価における受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_b	mm^2	ボルトの軸断面積
A_H	m^2	軸直角方向応力評価における受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C_A	－	軸方向応力評価における建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C_H	－	軸直角方向応力評価における建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	ボルト呼び径
F	MPa	ＪＳＭＥ　ＳＳＢ-3121.1(1)により規定される値
F_{bA}	N	ボルトに対する軸方向応力評価における引張力
F_{bH}	N	ボルトに対する軸直角方向応力評価における引張力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ　ＳＳＢ-3121.1により規定される供用応力状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ　ＳＳＢ-3121.1により規定される供用応力状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	排気消音器の高さ（全高）
h	mm	排気消音器重心高さ
L_{gH}	mm	重心からボルト間の軸直角方向水平距離
L_H	mm	支点からボルト間の軸直角方向水平距離
L_{gA}	mm	重心からボルト間の軸方向水平距離
L_A	mm	支点からボルト間の軸方向水平距離
m	kg	排気消音器の質量
N	－	ボルトの本数

表3-1　構造強度評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
n_{fA}	－	軸方向応力評価における引張力を受けるボルトの本数
n_{fH}	－	軸直角方向応力評価における引張力を受けるボルトの本数
Q_b	N	ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
W	mm	排気消音器の幅
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
π	－	円周率
σ_{bA}	MPa	軸方向応力評価におけるボルトに生じる引張応力
σ_{bH}	MPa	軸直角方向応力評価におけるボルトに生じる引張応力
τ	MPa	ボルトに生じるせん断応力

3.2　評価対象部位

ディーゼル発電機排気消音器の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計竜巻による荷重は，ディーゼル発電機排気消音器本体に作用し，支持脚を介して取付ボルト又は基礎ボルトに作用する。

排気消音器の転倒による閉塞により，ディーゼル発電機の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し，転倒を防止するための主要な支持部材のうち，荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し，更に支持断面積が小さいことから発生する応力が厳しくなる取付ボルト又は基礎ボルトを評価対象部位として設定する。

ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機２Ｄ）及びディーゼル発電機排気消音器（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機）については，フィルタ部と吸収部がフランジで結合されているが，軸方向からの風荷重についてフィルタ部と吸収部各々に風が当たるものとして評価することで保守的な評価になること，軸直角方向からの風荷重による応力は，フィルタ部と吸収部各々の支持脚を介し直下の取付ボルト又は基礎ボルトに発生することから，フィルタ部と吸収部それぞれについて評価を行う。

なお，設計竜巻により取付ボルト又は基礎ボルトに発生する応力をおおむね弾性範囲となるよう設計することにより，フィルタ部又は吸収部に転倒は発生しない。また，仮にフィルタ部と吸収部各々の変位により結合部のフランジに損傷が生じても，損傷部より排気されることによりディーゼル発電機の排気機能は維持される。

ディーゼル発電機排気消音器の構造強度評価における評価対象部位を，図3-1～図3-3に示す。

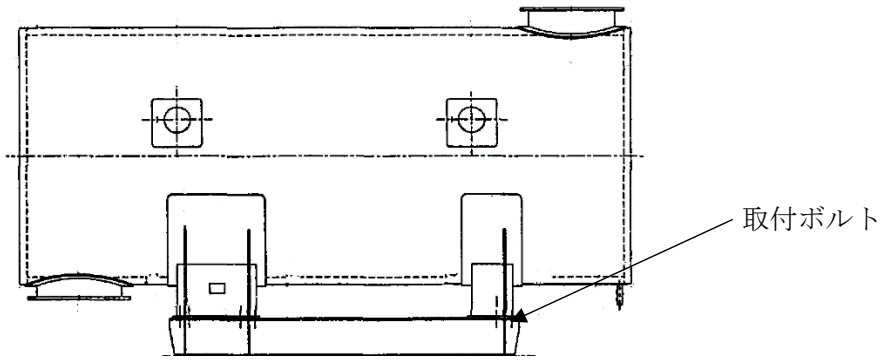


図3-1　ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機２Ｃ）の評価対象部位

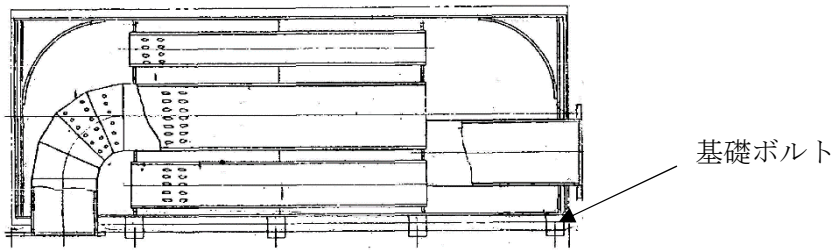


図3-2　ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機２Ｄ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機）の評価対象部位（フィルタ部）

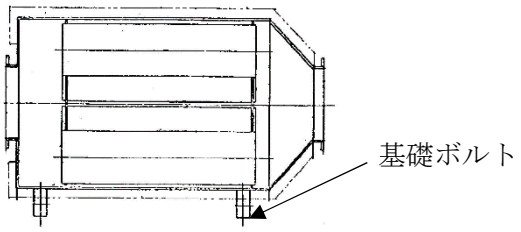


図3-3　ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機２Ｄ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機）の評価対象部位（吸収部）

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重

常時作用する荷重として，持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

自重による荷重＝m・g

b．　設計竜巻による荷重

屋外の施設であるため，風圧力による荷重を考慮する。開放された施設であるため，ディーゼル発電機排気消音器に気圧差は発生しないことから気圧差による荷重は考慮しない。また，ディーゼル発電機排気消音器が仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても，その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気され，かつ速やかに補修する方針とするため，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

(a)　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い，算出する。

$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$

(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ，ディーゼル発電機排気消音器の評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電機排気消音器の取付ボルト又は基礎ボルトには，自重及び風圧力による荷重が作用する。

構造強度評価の荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2　荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
波及的影響を及ぼす可能性がある施設	ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機２Ｃ）	取付ボルト	①自重 ②風圧力による荷重
	ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機２Ｄ）	基礎ボルト	
	ディーゼル発電機排気消音器（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機）		

3.4 許容限界

ディーゼル発電機排気消音器の取付ボルト又は基礎ボルトの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，ＪＥＡＧ４６０１に基づく許容応力状態III_AＳの許容応力の許容荷重を用いる。

許容限界はＪＥＡＧ４６０１を準用し，その他支持構造物の許容限界を適用し，許容応力状態III_AＳから算出した許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は，評価対象部位の最高使用温度又は周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて計算する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機排気消音器の取付ボルト又は基礎ボルトの許容限界を表3-3に，それぞれの許容応力を表3-4及び表3-5に示す。

表3-3　許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
取付ボルト又は基礎ボルト	$\mathrm{III}_A S$	一次応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	Min｛$1.5 f_t$，$(2.1 f_t - 1.6\tau)$｝

表 3-4　許容応力（非常用ディーゼル発電機２Ｃ排気消音器）

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
取付ボルト	SNB7	50*	715	838	586	439	338

注記　＊：周囲環境温度

表 3-5　許容応力（非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器）

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
基礎ボルト	SS400	50*	231	394	231	173	133

注記　＊：周囲環境温度

3.5　評価方法

ディーゼル発電機排気消音器の構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(1)　計算モデル

受圧面の重心位置に風圧力による荷重が作用する 1 質点系モデルとして計算を行う。非常用ディーゼル発電機２Ｃ排気消音器の評価モデル図を図 3-4，図 3-5 に，非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図を図 3-6～図 3-9 に示す。

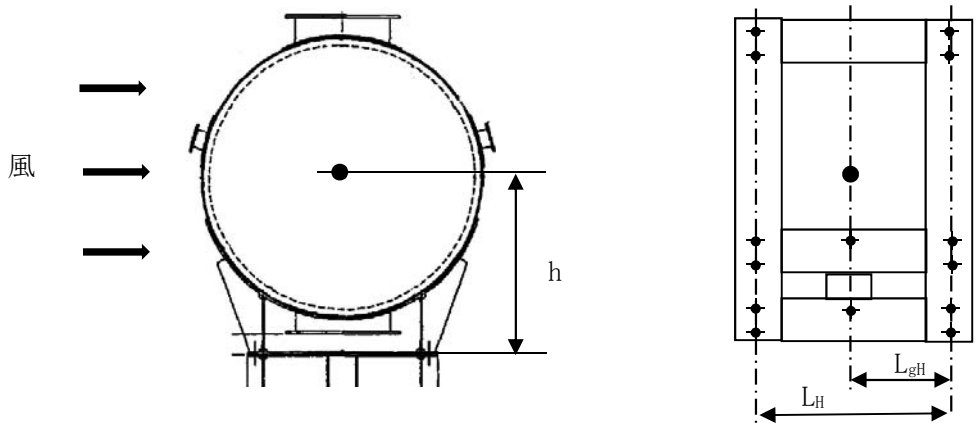


図 3-4　非常用ディーゼル発電機２Ｃ排気消音器の評価モデル図（軸直角方向）

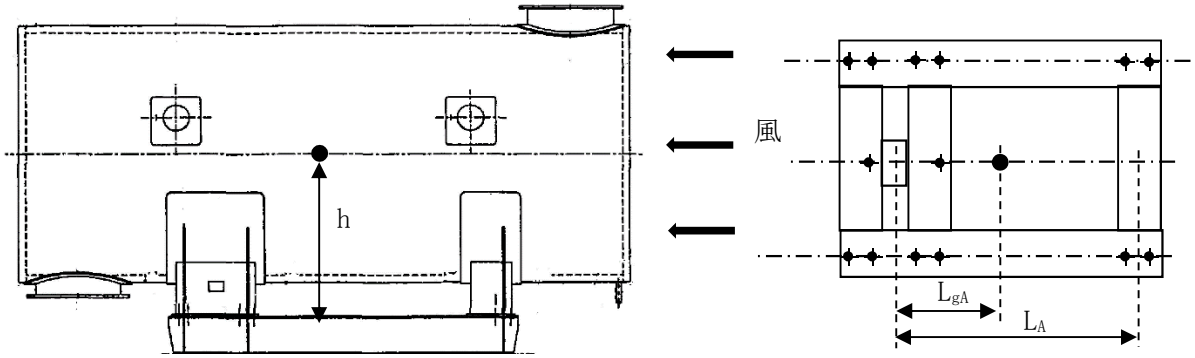


図 3-5　非常用ディーゼル発電機２Ｃ排気消音器の評価モデル図（軸方向）

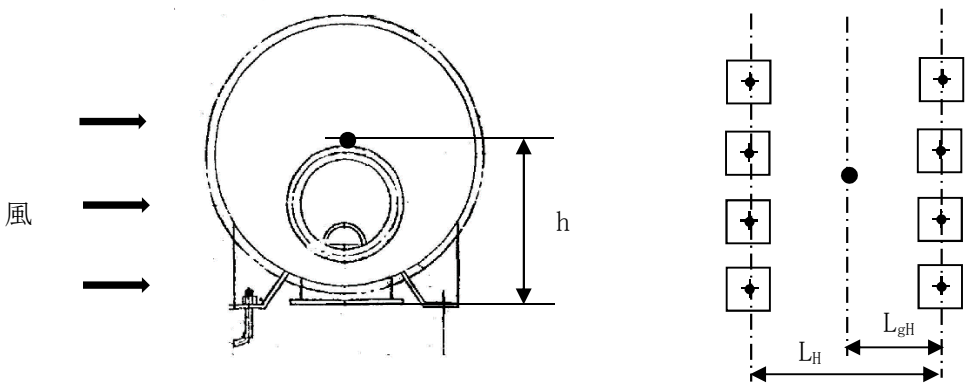


図 3-6　非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（フィルタ部軸直角方向）

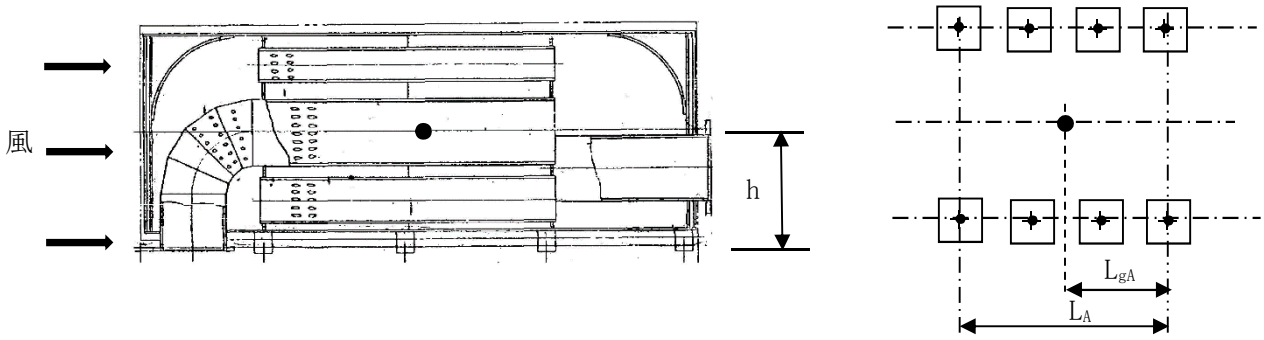


図 3-7　非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（フィルタ部軸方向）

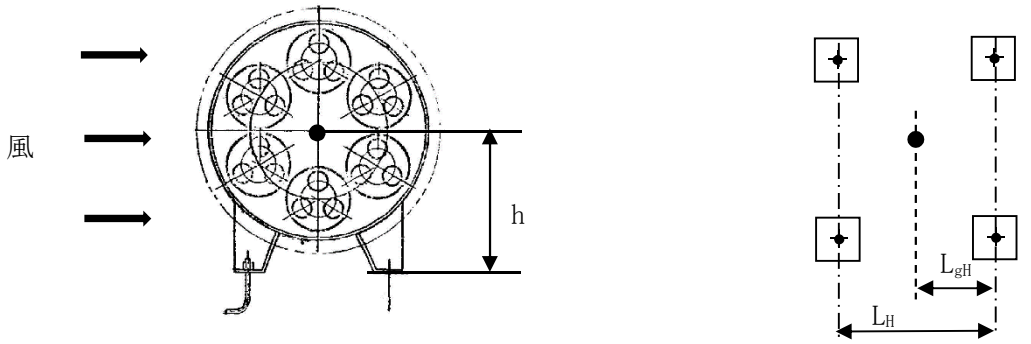


図 3-8　非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器モデル図（吸収部軸直角方向）

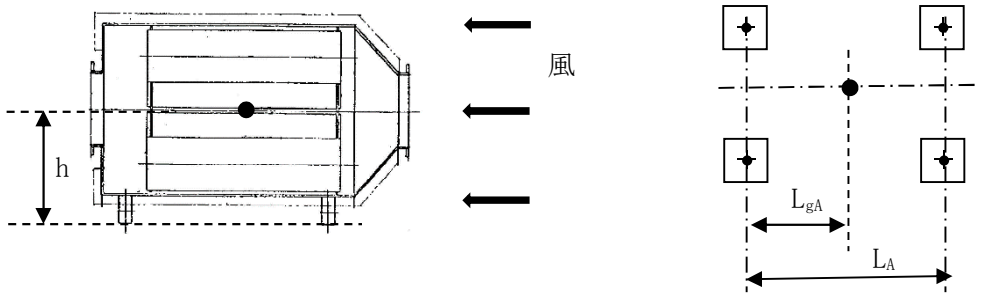


図 3-9　非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（吸収部軸方向）

(2) 計算方法

a. 引張応力

取付ボルト又は基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 3-4～図 3-9 で取付ボルト又は基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の取付ボルト又は基礎ボルトで受けるものとして計算する。

(a) 軸直角方向

イ. 引張力

$$F_{bH}=\frac{W_T\cdot h-m\cdot g\cdot L_{gh}}{n_{fH}\cdot L_H}$$

ロ. 引張応力

$$\sigma_{bH}=\frac{F_{bH}}{A_b}$$

ここで，取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b=\frac{\pi}{4}d^2$$

(b) 軸方向

イ. 引張力

$$F_{bA}=\frac{W_T\cdot h-m\cdot g\cdot L_{gA}}{n_{fA}\cdot L_A}$$

ロ. 引張応力

$$\sigma_{bA}=\frac{F_{bA}}{A_b}$$

ここで，取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b=\frac{\pi}{4}d^2$$

b. せん断応力

取付ボルト又は基礎ボルトに対するせん断応力は，取付ボルト又は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

(a) せん断力

$$Q_b=W_T$$

(b) せん断応力

$$\tau=\frac{Q_b}{A_b\cdot N}$$

4. 評価条件

「3.強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-6 に示す。

表 4-1　評価条件

q (N/m^2)	G (-)
6.1×10^3	1.0

表 4-2　評価条件（非常用ディーゼル発電機２Ｃ排気消音器取付ボルト）

L_{gH} (mm)	L_H (mm)	L_{gA} (mm)	L_A (mm)	A_H (m^2)	A_A (m^2)
800	1600	1100	2925	20.10	8.613

C_H (-)	C_A (-)	W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	6300	3190	1640	8248

g (m/s^2)	ボルト サイズ	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm^2)
9.80665	M30	14	6	2	706.9

表 4-3　評価条件（非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器フィルタ部基礎ボルト）

L_{gH} (mm)	L_H (mm)	L_{gA} (mm)	L_A (mm)	A_H (m^2)	A_A (m^2)
700	1400	1800	5100	22.29	7.995

C_H (-)	C_A (-)	W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	7250	3075	1775	9500

g (m/s^2)	ボルト サイズ	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm^2)
9.80665	M30	8	4	2	706.9

表 4-4　評価条件（非常用ディーゼル発電機２D排気消音器吸収部基礎ボルト）

L_{gH} (mm)	L_H (mm)	L_{gA} (mm)	L_A (mm)	A_H (m^2)	A_A (m^2)
700	1400	794	2000	6.975	4.950

C_H (-)	C_A (-)	W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	3100	2250	1150	4500

g (m/s^2)	ボルトサイズ	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm^2)
9.80665	M30	4	2	2	706.9

表 4-5　評価条件（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器フィルタ部基礎ボルト）

L_{gH} (mm)	L_H (mm)	L_{gA} (mm)	L_A (mm)	A_H (m^2)	A_A (m^2)
675	1350	1550	4200	16.80	5.945

C_H (-)	C_A (-)	W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	6075	2765	1690	9500

g (m/s^2)	ボルトサイズ	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm^2)
9.80665	M30	8	4	2	706.9

表 4-6　評価条件（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器吸収部基礎ボルト）

L_{gH} (mm)	L_H (mm)	L_{gA} (mm)	L_A (mm)	A_H (m^2)	A_A (m^2)
450	900	794	2000	6.681	4.202

C_H (-)	C_A (-)	W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	3100	2155	1180	4500

g (m/s^2)	ボルトサイズ	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm^2)
9.80665	M30	4	2	2	706.9

5. 強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-1，表 5-2 に示す。

非常用ディーゼル発電機２Ｃ排気消音器取付ボルト，非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器基礎ボルト及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器基礎ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1　評価結果（軸直角方向）

評価対象部位	損傷モード	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
非常用ディーゼル発電機２Ｃ排気消音器取付ボルト	引張	27	439
	せん断	15	338
	組合せ	27	439
非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器（フィルタ部）基礎ボルト	引張	57	173
	せん断	29	133
	組合せ	57	173
非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器（吸収部）基礎ボルト	引張	15	173
	せん断	19	133
	組合せ	15	173
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（フィルタ部）基礎ボルト	引張	38	173
	せん断	22	133
	組合せ	38	173
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（吸収部）基礎ボルト	引張	30	173
	せん断	18	133
	組合せ	30	173

表 5-2　評価結果（軸方向）

評価対象部位	損傷モード	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
非常用ディーゼル発電機２Ｃ排気消音器取付ボルト	引張	29	439
	せん断	13	338
	組合せ	29	439
非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器（フィルタ部）基礎ボルト	引張	5	173
	せん断	21	133
	組合せ	5	173
非常用ディーゼル発電機２Ｄ排気消音器（吸収部）基礎ボルト	引張	18	173
	せん断	26	133
	組合せ	18	173
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（フィルタ部）基礎ボルト	引張	1	173
	せん断	16	133
	組合せ	1	173
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（吸収部）基礎ボルト	引張	14	173
	せん断	22	133
	組合せ	14	173

Ⅴ-3-別添 1-1-10-3　排気管，放出管及びベント管の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 4
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 7
3.3 荷重及び荷重の組合せ 8
3.4 許容限界 9
3.5 評価方法 10
4. 評価条件 13
5. 強度評価結果 15

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，屋外に設置している非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の付属排気配管（以下「ディーゼル発電機付属排気配管」という。）並びにベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側），非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の海水配管（放出側）（以下「ディーゼル発電機海水配管（放出側）」という。）並びにサポート部が竜巻時及び竜巻通過後においても，各配管の機能維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）について，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

屋外に設置しているディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，図2-1に示す位置に設置する。

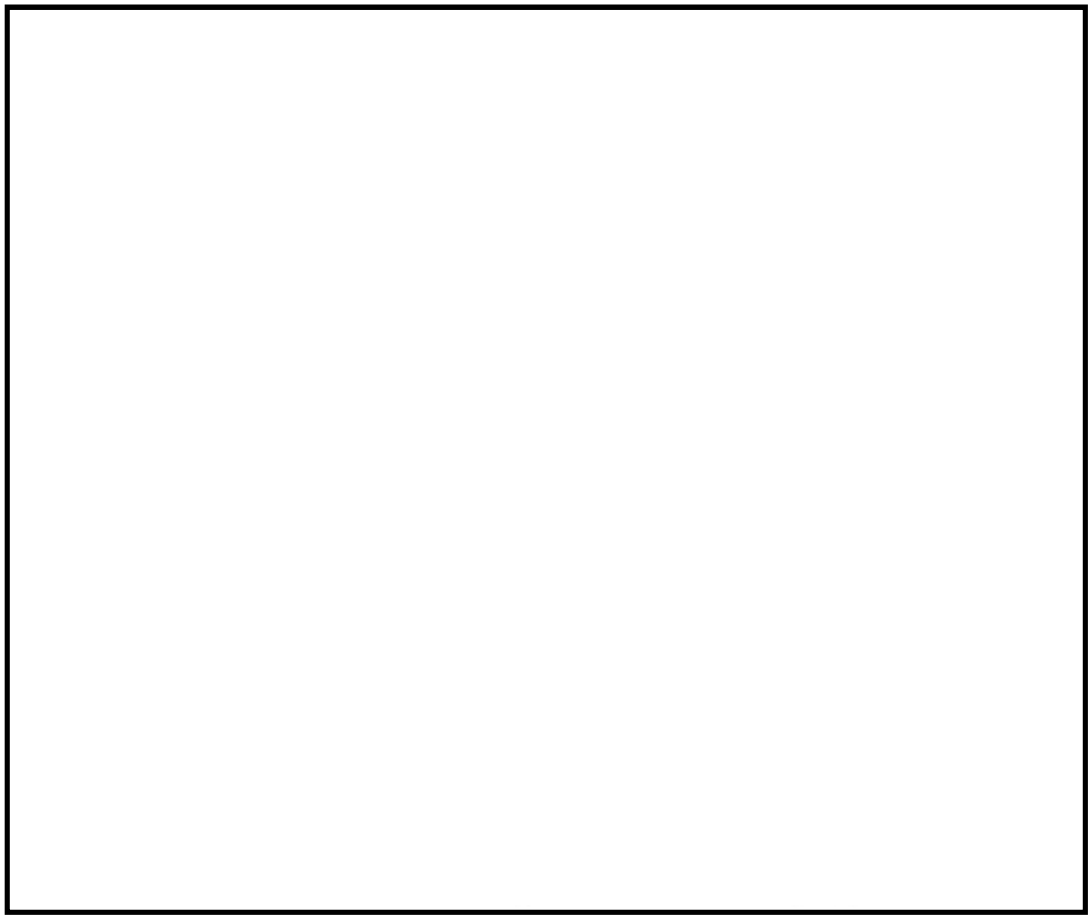


図 2-1　ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の位置図

2.2　構造概要

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）について，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）は鋼管で構成される。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管は建屋壁，床等から支持された配管である。残留熱除去系海水配管（放出側）及びディーゼル発電機海水配管（放出側）は，建屋壁，基礎コンクリートにサポートで固定された配管である。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の概要図を図2-2～図2-4に示す。

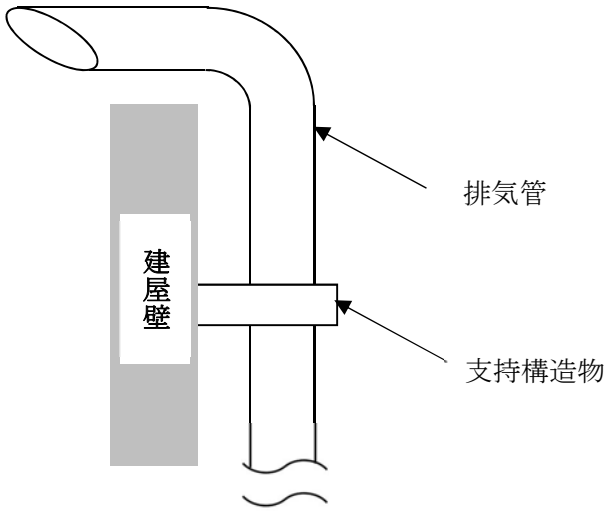


図2-2　ディーゼル発電機付属排気配管の概要図

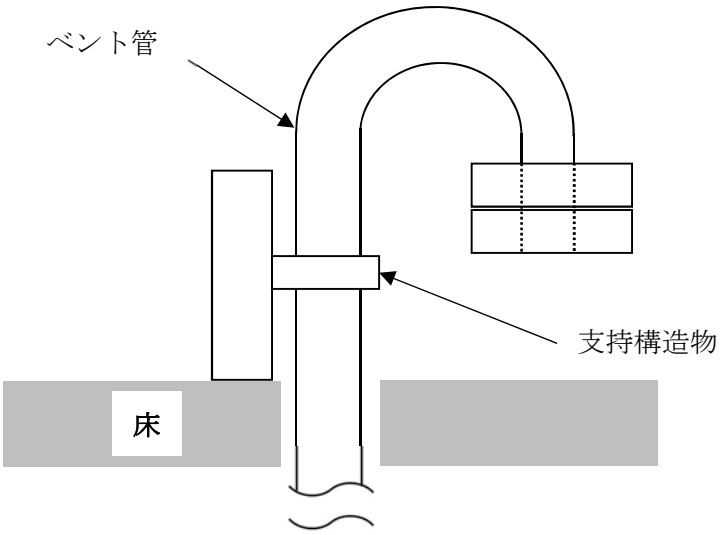


図2-3　ディーゼル発電機付属ベント配管の概要図

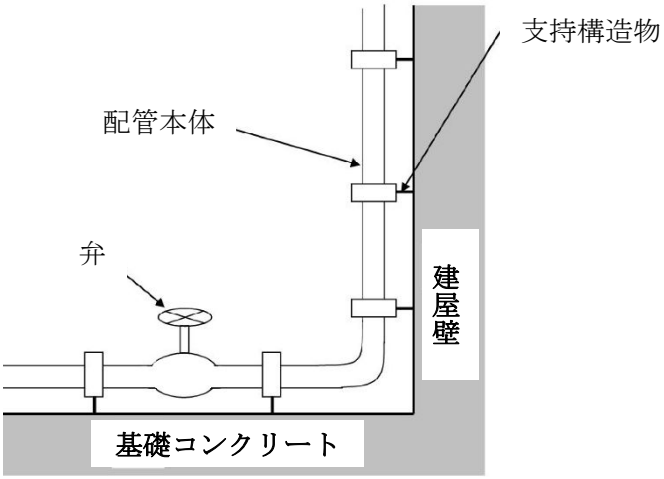


図2-4　残留熱除去系海水配管（放出側）及びディーゼル発電機海水配管（放出側）の概要図

2.3　評価方針

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価フローを図2-5に示す。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

構造強度評価において，ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）に対しては，設計竜巻による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」((社) 日本電気協会)，「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」((社) 日本電気協会) 及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」((社) 日本電気協会) (以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。) の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$とする。

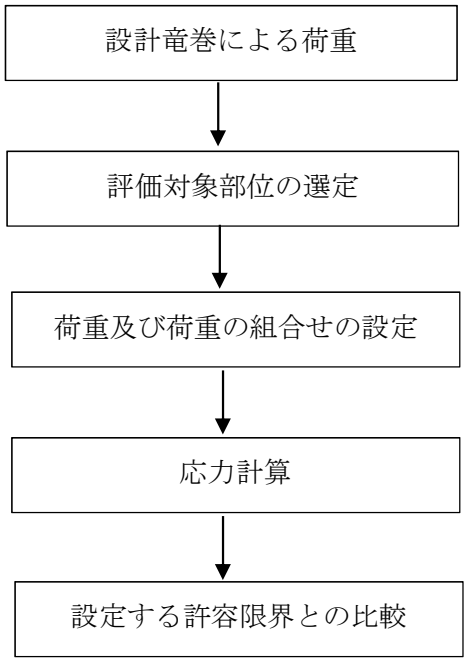


図2-5　ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（社）日本電気協会
・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）
・「新版機械工学便覧」（1987年4月日本機械学会編）

3.　強度評価方法

3.1　記号の定義

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1　構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m^2/m	単位長さ当たりの施設の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
L	m	支持間隔
M	N･m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	N/m^2	設計用速度圧
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
W_W	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm^3	断面係数
π	－	円周率
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
σ_1，σ_2	MPa	配管に生じる応力
σ_{WP}	MPa	気圧差により生じる応力
σ_{WT1}，σ_{WT2}	MPa	複合荷重により生じる応力
σ_{WW}	MPa	風圧力により生じる応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

3.2　評価対象部位

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計竜巻による荷重は，配管本体及びサポート（配管支持構造物）に作用する。サポート（配管支持構造物）については，建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており，配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも，作用荷重は耐荷重以下であるため，竜巻による荷重に対するサポート（配管支持構造物）の設計は耐震設計に包絡される。

このことから，配管本体を評価対象部位として選定する。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価における評価対象部位を図3-1～図3-3に示す。

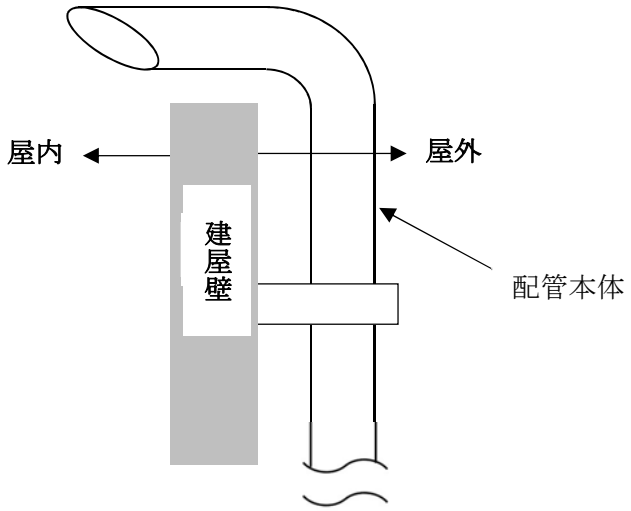


図3-1　ディーゼル発電機付属排気配管の評価対象部位

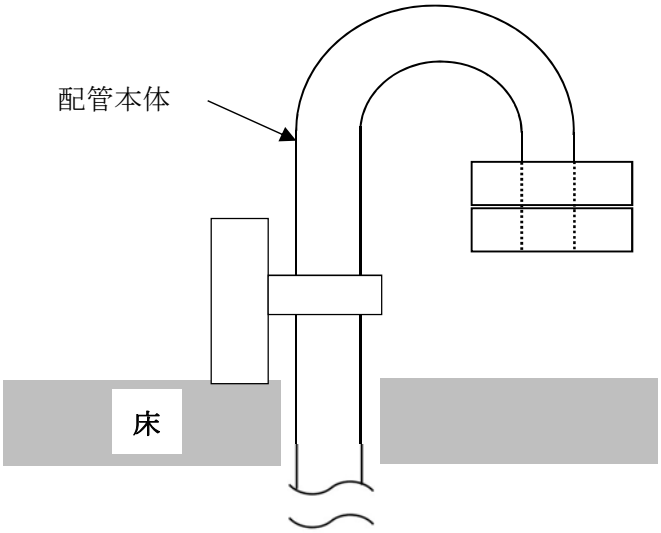


図3-2　ディーゼル発電機付属ベント管の評価対象部位

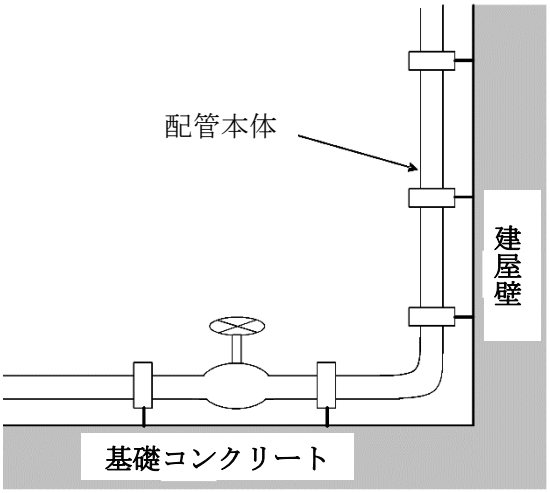


図3-3　残留熱除去系海水配管（放出側）及びディーゼル発電機海水配管（放出側）の評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重

常時作用する荷重として，持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

単位長さ当たりの自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$w = m \cdot g$$

b. 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重，気圧差による荷重を考慮する。なお，ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）が仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても，その貫通箇所又は本来の排気又は排水箇所から排気又は排水され，かつ速やかに補修する方針とするため，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

(a) 風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い，算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

(b) 気圧差による荷重(W_P)

気圧差による荷重W_Pは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法に従って，気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は，「3.5(2) 構造強度評価の計算方法」に示す。

c. 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては，配管に作用する内圧を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ設定する。

配管本体には，自重，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び内圧が作用する。

構造強度評価の荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2　荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
波及的影響を及ぼす可能性がある施設	・ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管 ・残留熱除去系海水配管（放出側） ・ディーゼル発電機海水配管（放出側）	配管本体	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧

3.4 許容限界

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添1-1　竜巻への配慮が

必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，ＪＥＡＧ４６０１に基づく許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$の許容応力の許容荷重を用いる。

ディーゼル発電機付属排気ベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）及びディーゼル発電機海水配管（放出側）の許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス2,3配管」の許容限界を適用し，許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$から算出した許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は，評価対象部位の最高使用温度又は周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて計算する。また，ディーゼル発電機付属排気配管の許容限界は，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表記載の値以上であることから，外挿値を用いて計算する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

配管の構造強度評価における許容限界を表3-3，許容応力を表3-4に示す。

表3-3　配管の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力（膜＋曲げ）
$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	S_y

表 3-4　配管の許容応力

評価対象配管	管外径 (mm)	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)
非常用ディーゼル発電機付属排気配管	660.4	SM400B	500*	116
	863.6	SM400B	500*	116
非常用ディーゼル発電機付属ベント配管	42.7	STPT370	55*	206
	165.2	STPT370	50*	209
	216.3	STPT370	50*	209
残留熱除去系海水配管（放出側）	508.0	SB410	66*	212
ディーゼル発電機海水配管（放出側）	267.4	STPT410	66*	231

注記　＊：最高使用温度

3.5　評価方法

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(1)　計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため，風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径，材料ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。保温材を使用している配管については，保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート支持間隔が短くなるため，弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

なお，ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管は，配管端部が片持ち形状となっていることから，配管端部についても片持ち梁として評価を行う。

両端支持形状の配管モデル図を図 3-4 に，片持ち形状の配管モデル図を図 3-5 に示す。

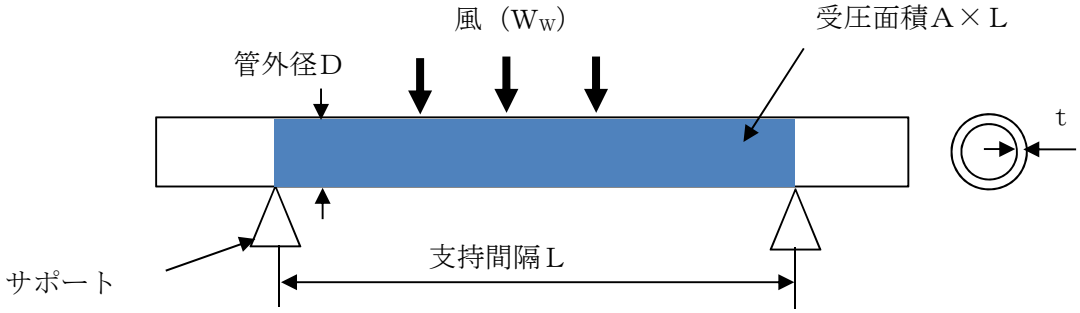


図 3-4　配管モデル図（両端支持形状）

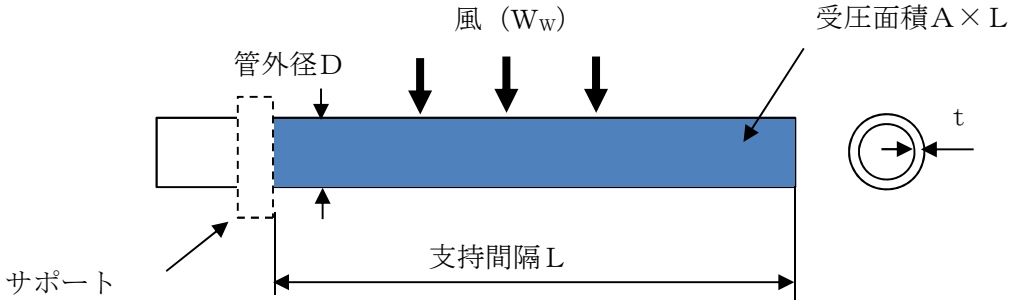


図 3-5　配管モデル図（片持ち形状）

(2)　計算方法

a.　竜巻による応力計算

(a)　風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

（両端支持形状）

$$\sigma_{WW}=\frac{M}{Z}=\frac{W_W \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

（片持ち形状）

$$\sigma_{WW}=\frac{M}{Z}=\frac{W_W\cdot L^2}{2\cdot Z}$$

ここで

$$Z=\frac{\pi}{32\cdot D}\left\{D^4-(D-2\cdot t)^4\right\}$$

(b)　気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は，気圧が低下した分，内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて，その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP}=\frac{\Delta P\cdot D}{4\cdot t}$$

したがって，(a)，(b)項の複合荷重により生じる応力σ_{WT1}及びσ_{WT2}は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1}=\sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2}=\sigma_{WW}+0.5\cdot\sigma_{WP}$$

b.　組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として，配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は，以下の式により算定する。

（両端支持形状）

$$\sigma_{自重}=\frac{W_W\cdot L^2}{8\cdot Z}$$

（片持ち支持形状）

$$\sigma_{自重}=\frac{w\cdot L^2}{2\cdot Z}$$

$$w=m\cdot g$$

$$\sigma_{内圧}=\frac{P\cdot D}{4\cdot t}$$

したがって，自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ，配管に生じる応力として以下の式によりσ_1及びσ_2を算出する。

$$\sigma_1=\sigma_{自重}+\sigma_{内圧}+\sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2=\sigma_{自重}+\sigma_{内圧}+\sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 評価条件

ガスト係数 G (－)	風力係数 C (－)	設計用速度圧 q (N/m^2)	気圧低下量 ΔP (N/m^2)	重力加速度 g (m/s^2)
1	1.2	6100	8900	9.80665

表 4-2 評価条件（非常用ディーゼル発電機付属排気配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m^2/m)	内圧 P (kPa)
660.4	両端支持	SM400B	8.500	6.0	115.9	0.8604	10
	片持ち	SM400B	5.570	6.0	115.9	0.8604	10
863.6	両端支持	SM400B	9.362	6.0	151.1	1.064	5
	片持ち	SM400B	7.251	6.0	151.1	1.064	5

表 4-3 評価条件（非常用ディーゼル発電機付属ベント配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m^2/m)	内圧 P (kPa)
42.7	両端支持	STPT370	2.440	3.6	3.470	0.04270	197
	片持ち	STPT370	0.950	3.6	7.570	0.04270	197
165.2	両端支持	STPT370	2.800	7.1	27.70	0.1652	5
	片持ち	STPT370	1.378	7.1	49.30	0.1652	5
216.3	両端支持	STPT370	2.900	8.2	42.10	0.2163	5
	片持ち	STPT370	1.578	8.2	71.30	0.2163	5

表 4-4　評価条件（残留熱除去系海水配管（放出側））

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m^2/m)	内圧 P (MPa)
508.0	SB410	13.35	15.1	362.8	0.5080	0.70

表 4-5　評価条件（ディーゼル発電機海水配管（放出側））

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m^2/m)	内圧 P (MPa)
267.4	STPT410	10.00	9.3	107.8	0.2674	0.70

5. 強度評価結果

(1) 非常用ディーゼル発電機付属排気配管

構造強度評価結果を表5-1に示す。

非常用ディーゼル発電機付属排気配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1 評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
660.4	両端支持	SM400B	6	34	116
	片持ち	SM400B	10	59	116
863.6	両端支持	SM400B	6	30	116
	片持ち	SM400B	12	72	116

(2) 非常用ディーゼル発電機付属ベント配管

構造強度評価結果を表5-2に示す。

非常用ディーゼル発電機付属ベント配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-2 評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
42.7	両端支持	STPT370	7	66	206
	片持ち	STPT370	10	45	206
165.2	両端支持	STPT370	3	11	209
	片持ち	STPT370	4	13	209
216.3	両端支持	STPT370	2	8	209
	片持ち	STPT370	4	11	209

(3)　残留熱除去系海水配管（放出側）

構造強度評価結果を表5-3に示す。

残留熱除去系海水配管（放出側）に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-3　評価結果

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
508.0	SB410	35	64	212

(4)　ディーゼル発電機海水配管（放出側）

構造強度評価結果を表5-4に示す。

ディーゼル発電機海水配管（放出側）に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-4　評価結果

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
267.4	STPT410	34	86	231

Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針

目次

1. 概要 1
2. 強度設計の基本方針 1
2.1 対象施設 1
2.2 構造強度の設計方針 1
2.3 荷重及び荷重の組合せ 2
2.4 構造設計 11
2.5 評価方針 13
3. 防護対策施設の構成要素の設計方針 14
3.1 防護ネットの構造設計 14
3.2 防護鋼板の構造設計 17
3.3 架構の構造設計 18
4. 防護対策施設の構成要素の評価方針 20
4.1 防護ネットの評価方針 21
4.2 防護鋼板の評価方針 24
4.3 架構の評価方針 25
5. 許容限界 27
5.1 防護ネットの許容限界 27
5.1.1 許容限界の設定 27
5.1.2 許容限界の設定方法 30
5.2 防護鋼板の許容限界 36
5.2.1 衝突評価 36
5.3 架構の許容限界 36
5.3.1 衝突評価 36
5.3.2 支持機能評価，波及的影響評価 36
6. 強度評価方法 37
6.1 防護ネットの強度評価 37
7. 適用規格 53

1. 概要

本資料は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第7条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「Ⅴ-1-1-2-3　竜巻への配慮に関する説明書」の「Ⅴ-1-1-2-3-3　竜巻防護に関する施設の設計方針」に基づき，竜巻飛来物防護対策設備である防護対策施設が，設計竜巻に対して要求される強度を有することを確認するための強度設計方針について説明するものである。

2. 強度設計の基本方針

強度設計は，「2.1　対象施設」に示す施設を対象として，「2.3　荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重とこれを組み合わせる荷重を考慮し，「6.　強度評価方法」で示す評価方法により，「5.　許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

2.1　対象施設

添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「Ⅴ-1-1-2-3　竜巻への配慮に関する説明書」の「Ⅴ-1-1-2-3-3　竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」に基づき，以下の防護対策施設を対象とする。

・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設
・中央制御室換気系冷凍機防護対策施設
・海水ポンプエリア防護対策施設
・中央制御室換気系開口部防護対策施設
・原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設
・使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設
・原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設
・原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設

2.2　構造強度の設計方針

防護対策施設は，設置（変更）許可申請において示す設計飛来物のうち鋼製材（以下「飛来物」という。）の外部事象防護対象施設への衝突を防止するものであり，添付書類「Ⅴ-1-1-2-3-3　竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.2(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，防護ネット，防護鋼板及び架構で構成し，次に示す設計とする。

(1)　防護ネット

防護ネットは，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，主要な部材が破断せず，たわみを生じても，外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性がある飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉できる設計とする。

(2)　防護鋼板

防護鋼板は，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対

し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護鋼板を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

(3) 架構

架構は，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護ネット及び防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，架構を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

2.3 荷重及び荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価において考慮する荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「Ⅴ-1-1-2-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重及び上載荷重とする。なお，防護ネットのワイヤロープ及び接続冶具（支持部，固定部）の評価時は，上載荷重としてネットの自重を考慮する。

b. 設計竜巻による荷重（F_T）

設計竜巻（100 m/s）による荷重は，設計竜巻の特性を踏まえ，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を表 2-1 に示す。

・設計竜巻の移動速度（V_T）

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

V_D：設計竜巻の最大風速(m/s)

・竜巻の最大接線風速（V_{Rm}）

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

V_T：設計竜巻の移動速度(m/s)

・竜巻の最大気圧低下量（ΔP_{max}）

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ρ ：空気密度(＝1.22 kg/m^3)

V_{Rm}：設計竜巻の最大接線風速(m/s)

表 2-1 設計竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m^2)
100	15	85	8900

(a)　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重は，設計竜巻の最大風速による荷重である。

竜巻の風速は，一般的には水平方向の風速として算出されるが，鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる防護対策施設が存在する場合には，鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

風圧力による荷重は，施設の形状により変化するため，施設の部位ごとに異なる。そのため，各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し，各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数Gは，設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から施設の形状によらず「竜巻影響評価ガイド」を参照して，G＝1.0とする。空気密度ρは「建築物荷重指針・同解説」（社）日本建築学会（2004改定）よりρ＝1.22 kg/m^{3}とする。

設計用速度圧qについては，施設の形状によらずq＝6100 N/m^{2}とする。

(b)　気圧差による荷重(W_P)

外気と隔離されている区画の境界部など，気圧差による圧力影響を受ける施設の建屋壁，屋根等においては，設計竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設（通気がない施設）については，この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし，気圧差による荷重を設定することを基本としているが，防護対策施設は外気と通じており，施設の外殻に面する部材に気圧差は生じないことから考慮しない。

(c)　飛来物による衝撃荷重(W_M)

衝突による影響が大きくなる向きで飛来物が防護対策施設に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。

衝突評価においても，飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

飛来物のうち，設計飛来物の飛来速度及び諸元を表2-2に示す。

表2-2　飛来物の諸元（設計飛来物）

	鋼製材	砂利
寸法（m）	4.2×0.3×0.2	0.04×0.04×0.04
質量(kg)	135	0.18
水平方向の飛来速度(m/s)	51	62
鉛直方向の飛来速度(m/s)	34	42

また，隣接事業所の敷地からの飛来物のうち，設計飛来物の影響を上回るものとして，車両を想定する。

車両の飛来速度及び諸元を表2-3に示す。

表 2-3　飛来物の諸元（車両）

	車両
寸法（m）	3.6×2.5×8.6
質量(kg)	5000
水平方向の飛来速度(m/s)	52
鉛直方向の飛来速度(m/s)	—*

注記　＊：種々の車両の飛散解析結果と衝突対象建屋の屋根スラブの高さ及び厚さの関係から，車両が屋根に到達することは考え難く，仮に屋根に到達した場合でも，飛跡頂点から屋根までの落下距離は僅かであり，有意な衝突速度にならない。

c.　運転時に作用する荷重（F_P）

運転時の状態で作用する荷重は，配管等に作用する内圧等であり，防護対策施設には作用しないため考慮しない。

(2)　荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の設計に用いる竜巻の荷重は，気圧差による荷重(W_P)を考慮した複合荷重（W_{T1}），並びに設計竜巻の風圧力による荷重(W_W)，気圧差による荷重(W_P)及び飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重（W_{T2}）を以下のとおり設定する。

$$W_{T1}=W_P$$
$$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$$

竜巻の影響を考慮する施設には，W_{T1}及びW_{T2}の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては，施設の設置状況及び構造を踏まえ，適切な組合せを設定する。防護対策施設の構成要素別の荷重の組合せを，表 2-4 に示す。

表 2-4　防護対策施設の構成要素別の荷重の組合せ

分類	強度設計の対象施設		評価内容	荷重					
				常時作用する荷重（F_d）		風圧力による荷重（W_W）	気圧差による荷重（W_P）	飛来物による衝撃荷重（W_M）	運転時の状態で作用する荷重（F_P）
				自重	上載荷重				
防護対策施設	防護ネット	上面	構造強度	○	－	－*1	－*2	○	－
		側面		－*3	－	○	－*2	○	－
	防護鋼板	上面	構造強度	○	○	－*1	－*2	○	－
		側面		－*3	－	○	－*2	○	－
	架構		構造強度	○	○*4	○	－*2	○	－

注記　＊1：水平設置の防護ネット及び防護鋼板であるため，風荷重は考慮しない。
＊2：外気と通じており，気圧差は生じない。
＊3：鉛直設置の防護ネット及び防護鋼板であるため，自重は考慮しない。
＊4：防護ネット及び防護鋼板に作用する風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重を含む。

(3)　荷重の算定方法

「(1) 荷重の種類」で設定している荷重の算出式を以下に示す。

a.　防護ネット

(a)　記号の定義

防護ネットの部材の評価における荷重算出に用いる記号を，表 2-5 に示す。

表 2-5　防護ネットの部材の評価における荷重算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m^2	防護ネット又は防護鋼板の受圧面積
A_a	m^2	ネットの面積
C	－	風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根，壁等）に応じて設定する。）
d	m	設計飛来物衝突時の設計飛来物の移動距離
E_f	kJ	設計飛来物衝突時にネットに作用するエネルギ
F_a	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F_a”	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける衝撃荷重
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度（g＝9.80665）
L_x	m	ネット展開方向の寸法
L_y	m	ネット展開直角方向の寸法
m	kg	設計飛来物の質量
m_N	kg/m^2	ネットの単位面積当たりの質量
n	－	主金網の枚数
P_W	kN	ネットの自重により作用する荷重
Q	kN/s	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
q	Pa	設計用速度圧
t	s	時間
t_1	s	設計飛来物が衝突しネットのたわみ量が最大になる時間
V	m/s	ネットへの衝突後の設計飛来物の移動速度
V_1	m/s	ネットへの設計飛来物の衝突速度
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
W_W	kN	風圧力による荷重
δ	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
ρ	kg/m^3	空気密度
ϕ	－	ネットの充実率

(b)　自重による荷重の算出

防護ネット及び防護鋼板に常時作用する荷重として，自重を考慮する。自重により作用する荷重は，ネット等の設置方向を考慮する。水平設置の場合は，鉛直下向きに発生するものとして評価する。鉛直設置の場合は，自重と飛来物の衝撃荷重の作用する方向が異なることから考慮しない。

防護ネットにおいては，自重による荷重P_Wは，

$$\text{水平方向設置}\quad P_W=\frac{A_a\cdot m_N\cdot g\cdot(n+1)}{1000}$$

と算出される。

A_aはネットの実寸法L_x，L_yを用いて，以下の式で求められる。

$$A_a=L_x\cdot L_y$$

(c)　竜巻による荷重の算出

イ．　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重は，「建築基準法施行令」及び「日本建築学会　建築物荷重指針・同解説」に準拠して，次式のとおり算出する。

$$W_W=\frac{q\cdot G\cdot C\cdot A}{1000}$$

ここで，$q=\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot V_D{}^2$

防護ネットにおいては，ネットの充実率をφとすると，風圧力による荷重を受けるネットの受圧面積Aは次式のとおりとなる。

$$A=\phi\cdot A_a$$

(d)　飛来物による衝撃荷重の算出

防護ネットにおいて，設計飛来物の衝突時に受ける衝撃荷重F_a”は時間とともに比例して増加すると仮定すると，F_a”は以下のとおり算出される。

$$F_a''=Q\cdot t\quad\cdots(2.1)$$

従って，ネットへの衝突後の設計飛来物の移動速度Vは，（2.1）式の衝撃荷重F_a”から，以下のとおり算出される。

$$V=-\frac{1}{m}\int_0^t F_a''\,dt$$

$$=-\frac{Q\cdot t^2}{2\cdot m}+V_1\quad\cdots(2.2)$$

さらに，ネットへの衝突後の設計飛来物の移動距離dは，（2.2）式の速度Vから以下のとおり算出される。

$$d=\int_0^t V\,dt\quad=-\frac{Q\cdot t^3}{6\cdot m}+V_1\cdot t\quad\cdots(2.3)$$

設計飛来物が衝突しネットのたわみが最大になる時間t_1におけるネットの最大変位δは，設計飛来物の速度は$V=0$であるから，（2.2）式及び（2.3）式より，

$$Q \cdot t_1^2 = 2 \cdot m \cdot V_1 \quad \cdots (2.4)$$

$$\delta = -\frac{Q \cdot t_1^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t_1$$

上記2式を連立し，

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot V_1 \cdot t_1$$

よって，

$$t_1 = \frac{3 \cdot \delta}{2 \cdot V_1} \quad \cdots (2.5)$$

以上より，時間t_1における設計飛来物による衝撃荷重F_aは（2.1）式及び（2.4）式より，

$$F_a = \frac{2 \cdot m \cdot V_1}{t_1}$$

さらに，（2.5）式と連立し，

$$F_a = \frac{4 \cdot m \cdot V_1^2}{3 \cdot \delta} \quad \cdots (2.6)$$

また，時間t_1における設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギE_fは，衝突時の設計飛来物の運動エネルギとして，以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \quad \cdots (2.7)$$

したがって，（2.6）式及び（2.7）式より，

$$F_a = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \quad \cdots (2.8)$$

（2.8）式に，たわみ評価で算出する，設計飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量δを代入し，F_aを算出する。

b． 車両防護柵

(a) 記号の定義

車両防護柵の部材の評価における荷重算出に用いる記号を，表2-6に示す。

表 2-6　車両防護柵の部材の評価における荷重算出に用いる記号

記号	単位	定義
F_{1m}	kN	防護柵に作用する最大荷重
k_1	kN/m	防護柵のばね係数
k_2	kN/m	車両の剛性
k_n	kN/m	一体系の有効ばね定数
m_1	kg	防護柵の質量
m_2	kg	車両の質量
m_n	kg	一体系の有効質量
v_1	m/s	防護柵（衝突点）の移動速度（ = 0）
v_2	m/s	車両の衝突速度
v_c	m/s	一体系の速度
x_1	m	防護柵の衝突後の変位
x_2	m	車両の衝突後の変位
x_3	m	衝突面の衝突後の変位
ω	kg/m^3	一体系の固有振動数
ζ	kN/m/kg	車両の剛性を算出する係数

(b)　衝突時の最大荷重の算出

衝突時の荷重算出モデルを図 2-1 に示す。文献*を参考に，車両防止柵及び車両を共に弾性体として扱う方針としたことから，防護柵と車両が，衝突面を境にばねで結合しているモデルを採用した。

注記　＊：自動車の衝突安全（名古屋大学出版会）

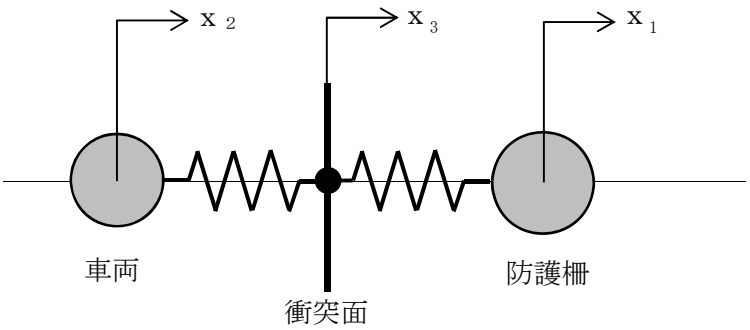


図 2-1　防護柵への車両衝突時の荷重算出モデル

車両と防護柵の変形速度が一致する時刻 T(=π/(2・ω))までの時刻において，車両と防護柵が接触した一体系の運動方程式と衝突面での力のつり合いは，以下の式で表わされる。

$$\left.\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= k_1 (x_3 - x_1) \\ m_2 \ddot{x}_2 &= -k_2 (x_2 - x_3) \\ k_1 (x_3 - x_1) &= k_2 (x_2 - x_3) \end{aligned}\right\} \quad \cdots (2.9)$$

これを一体系の有効ばね定数 $k_n = k_1 k_2 / (k_1 + k_2)$ で整理すると，

$$\left.\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= -k_n (x_1 - x_2) \\ m_2 \ddot{x}_2 &= -k_n (x_2 - x_1) \end{aligned}\right\} \quad \cdots (2.10)$$

となる。ここで，

$$\alpha = x_2 - x_1$$

とおくと，（2.10）式は簡単に，

$$\ddot{\alpha} = -\frac{k_n}{m_n} \cdot \alpha \quad \cdots (2.11)$$

ここで，

$$m_n = (m_1 \cdot m_2) / (m_1 + m_2)$$

と表わすことが出来る。時刻 0 における初期条件

$$\alpha(t=0) = 0, \quad \alpha(t=T) = v_2 - v_1$$

から，α は

$$\alpha = \frac{v_2 - v_1}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad \cdots (2.12)$$

ここで，

$$\omega = \sqrt{\frac{k_n}{m_n}}$$

となる。

また，（2.10）式から

$$m_1 \ddot{x}_1 + m_2 \ddot{x}_2 = 0$$

であるため，これと（2.12）式より，

$$\ddot{x}_1 = \frac{m_n \cdot (v_2 - v_1) \cdot \omega}{m_1} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

となり，この最大値に防護柵の質量mを乗じた，

$$F_{1m} = m_1 \cdot \ddot{x}_{1(t=T)} = m_n \cdot (v_2 - v_1) \cdot \omega$$

により，防護柵に作用する衝突荷重を算出する。

2.4　構造設計

防護対策施設は，「2.2　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「2.3　荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

(1)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設，海水ポンプエリア防護対策施設及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設，海水ポンプエリア防護対策施設及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設は，防護ネット，防護鋼板及び架構で構成し，外部事象防護対象施設を取り囲むように設置することで，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止し，外部事象防護対象施設と構成部材（防護ネット，防護鋼板及び架構を構成する部材）の離隔を確保することなどにより，構成部材にたわみ及び変形が生じたとしても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また，原子炉建屋（原子炉棟及び付属棟）躯体及び海水ポンプ室躯体に支持する構造とする。

防護ネットは鋼製ネット，ワイヤロープ，接続冶具（支持部及び固定部）並びに鋼製枠を主体構造とし，接続ボルトを用いて架構により支持する。鋼製ネットに作用する飛来物による衝撃荷重，風圧力による荷重及びその他の荷重はワイヤロープ並びに接続冶具（支持部及び固定部）を介して鋼製枠に伝達し，鋼製枠から架構を介して支持躯体に伝達する構造とする。

鋼製ネットは，らせん状の硬鋼線を 3 次元的に編み込み，編み込みの方向によって荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持ち，架構の配置，鋼製ネットに作用する荷重及び外部事象防護対象施設との離隔に応じて，鋼製ネットの展開方向と展開直角方向の長さの比を考慮して，鋼製枠内に複数枚を重ねて設置する構造とする。また，鋼製ネットに飛来物が衝突した際，ワイヤロープに瞬間的な大荷重が作用するのを防ぐため，鋼製枠の四隅には緩衝材を設置する設計とする。防護ネットの構造計画を表 2-5 に示す。

防護鋼板は，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護鋼板を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

防護ネット及び防護鋼板を支持する架構は，H形鋼等より構成され，施設の外殻に作用する荷重並びに上載する防護ネット及び防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また，架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，原子炉建屋（原子炉棟及び付属棟）躯体及

び海水ポンプ室躯体に伝達する構造とする。

表 2-5　防護ネットの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
防護ネット	防護ネットは，鋼製のネット，ワイヤロープ，接続冶具（支持部及び固定部）並びに鋼製枠で構成する。	接続ボルトを用いて，架構により支持し，架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体，使用済燃料乾式貯蔵建屋躯体又は海水ポンプ室躯体に伝達する構造とする。	

(2)　中央制御室換気系開口部防護対策施設

中央制御室換気系開口部防護対策施設は，防護鋼板及び架構で構成し，飛来物が侵入した場合に外部事象防護対象施設に衝突する可能性のある原子炉建屋付属棟壁面の開口部を取り囲むように設置することで，飛来物が建屋内に侵入することを防止し，建屋外壁と防護鋼板の離隔を確保することなどにより，防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。

防護鋼板を支持する架構は，H形鋼等から構成され，施設の外殻に作用する荷重及び上載する防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また，架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の原子炉建屋付属棟躯体に伝達する構造とする。

(3)　原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設及び原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設

原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設及び原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設は，防護鋼板で構成し，飛来物が侵入した場合に外部事象防護対象施設に衝突する可能性のある原子炉建屋付属棟開口閉鎖部の開口部及び原子炉建屋付属棟軽量外壁部を取り囲むように設置することで，飛来物が建屋内に侵入することを防止し，外部事象防護対象施設と防護鋼板の離隔を確保することなどにより，防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても，外部

事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また，防護鋼板は直接原子炉建屋付属棟躯体に支持する構造とする。防護鋼板に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造または鉄骨造の原子炉建屋付属棟躯体に伝達する構造とする。

(4) 使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設は，防護ネット及び架構で構成し，外部事象防護対象施設である使用済燃料乾式貯蔵容器の外殻となる使用済燃料乾式貯蔵建屋の排気口を覆うように設置することで，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止し，外部事象防護対象施設と構成部材（防護ネット，防護鋼板及び架構を構成する部材）の離隔を確保することなどにより，構成部材にたわみ及び変形が生じたとしても，外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋躯体に支持する構造とする。

2.5 評価方針

防護対策施設の強度評価は，「2.4 構造設計」を踏まえ，以下の評価方針とする。

(1) 防護ネット

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，主要な部材が破断しなければ設計飛来物は捕捉可能であり，設計飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しない。従って，防護ネットのうち鋼製ネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを，計算により確認する。

また，設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対し，外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために，防護ネットのうち鋼製ネット及びワイヤロープにたわみを生じても，外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

(2) 防護鋼板

設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，飛来物が防護鋼板を貫通しないこと及び防護鋼板の変形量が防護対策施設と外部事象防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを解析により確認する。

(3) 架構

設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，架構部材に対し，飛来物が貫通しないことを解析により確認する。

また，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構部材に，施設の倒壊に至るような変形が生じないことを計算により確認する。

さらに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構全体が倒壊を生じないことを計算により確認する。

3.　防護対策施設の構成要素の設計方針

防護対策施設は，「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，「2.4　構造設計」で示した構造と，「2.3　荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重を踏まえ，防護対策施設を構成する要素間での荷重の受け渡し，要素ごとの設計及び設計結果の全体設計への反映を行う。

防護対策施設の設計フローを図 3-1 に示す。

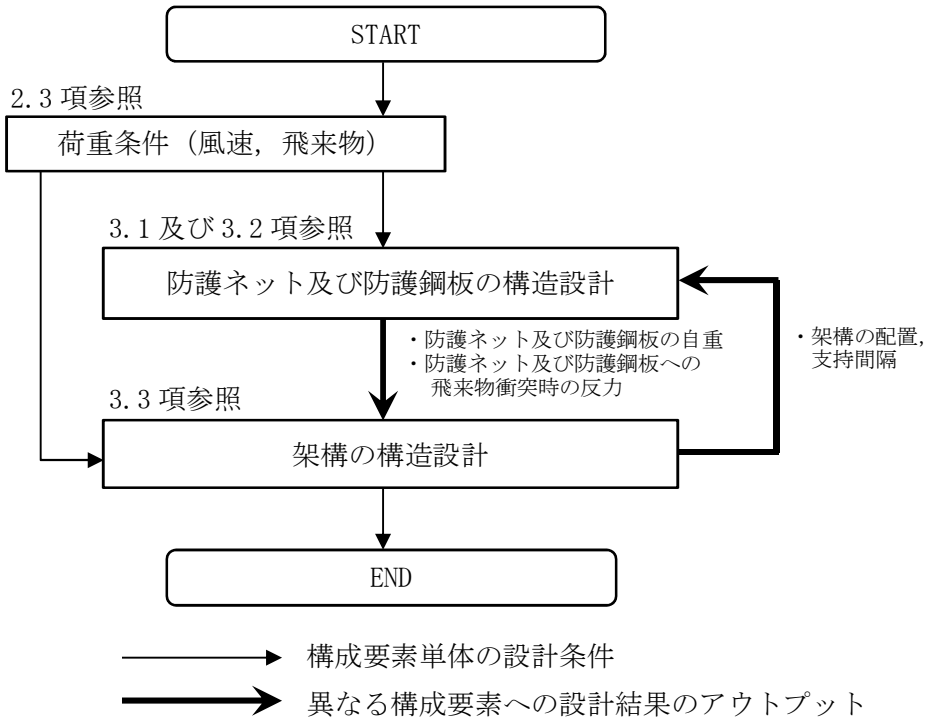


図 3-1　防護対策施設の設計フロー

3.1　防護ネットの構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物のうち，その影響が設計飛来物以下となるものが外部事象防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため，設計飛来物の防護ネットへの衝突に対し，主要な部材が破断することなく架構に荷重を伝達し，たわみを生じても，設計飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう，防護ネットで捕捉できる設計とする。

防護ネットの設計フローを図 3-2 に示す。

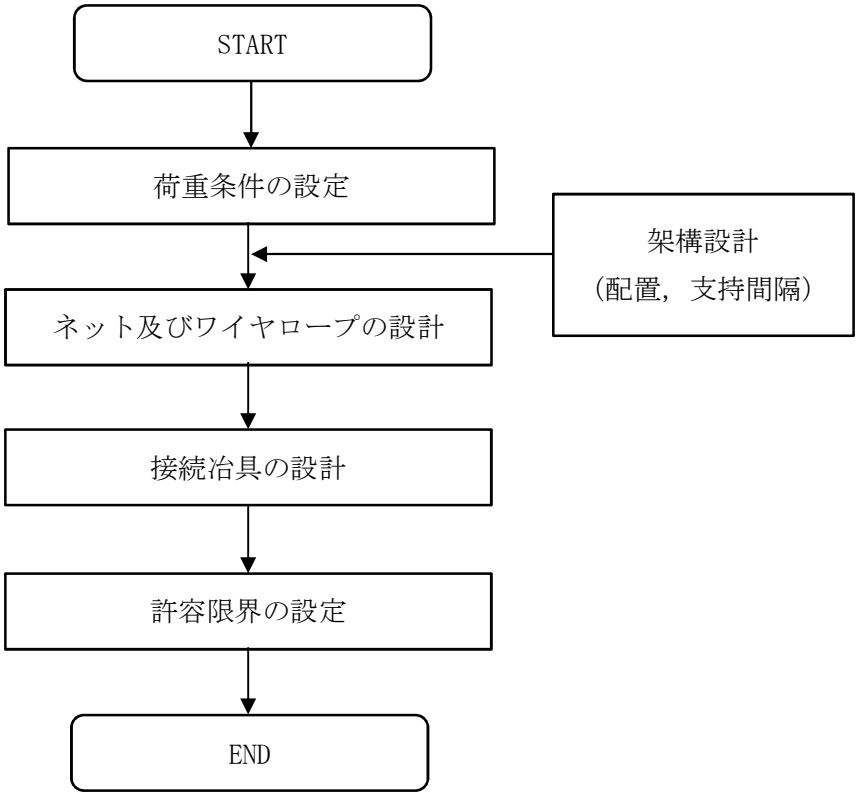


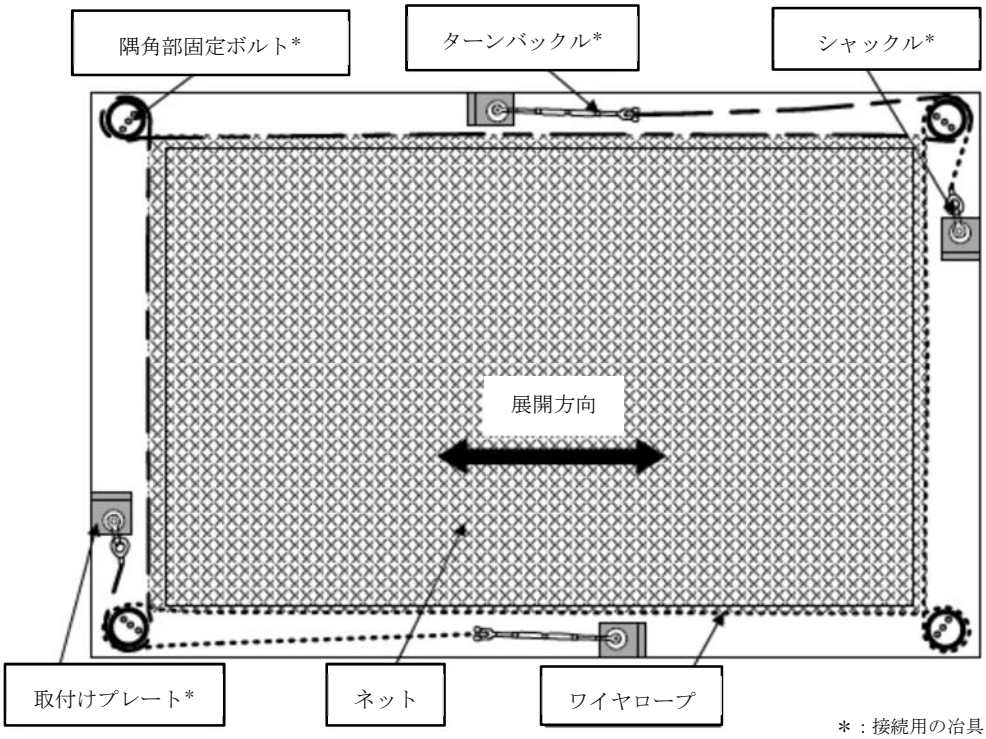
図 3-2　防護ネットの設計フロー

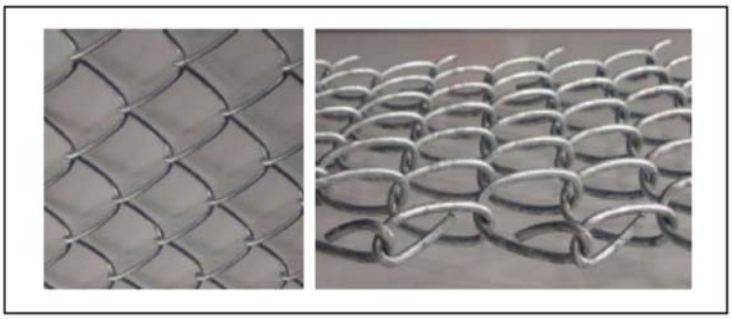
防護ネットの概要図を図 3-3 に示す。ネット，ワイヤロープ，接続冶具（支持部及び固定部）並びに鋼製枠から構成され，ネットの 4 辺をワイヤロープにより支持し，ワイヤロープは鋼製枠に設置した接続冶具にて支持する構造とする。ワイヤロープの端部はターンバックル又はシャックルを設置し，ターンバックル又はシャックルを鋼製枠に設置した取付けプレートに接続する構造とする。

防護ネットは，40 mm 目合いのネット 3 枚（補助ネット 1 枚を含む）で構成する。

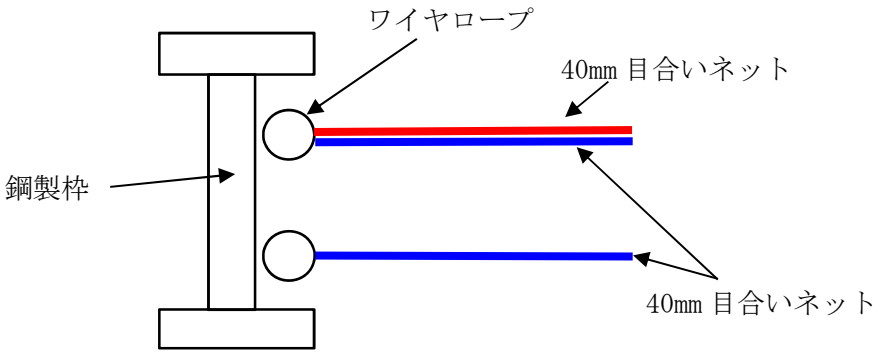
防護ネットは，電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」（総合報告：O01）（以下「電中研報告書」という。）にて適用性が確認されている評価式及びネットの物性値を用いた設計とする。

防護ネットを構成するネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）についての構造設計を以下に示す。





平面図



断面図

図 3-3　防護ネットの概要図

(1)　ネット

ネットは，らせん状の硬鋼線を山形に折り曲げて列線とし，3 次元的に交差させて編み込んだものであり，編み込みの向きにより，展開方向とその直角方向で異方性を有する。展開方向が主に荷重を受け持ち，展開方向と展開直角方向で剛性や伸び量が異なるため，これらの異方性を考慮した設計とする。ネットは，電中研報告書において，その剛性，最大たわみ時のたわみ角，1 目合いの破断変位等が確認されている。

ネットの寸法は，架構の柱・梁の間隔並びにネットの展開方向と展開直角方向の剛性や伸び量の異方性を考慮して，展開方向と展開直角方向の寸法の比（以下「アスペクト比」という。）について，原則として電中研報告書にて適用性が確認されている範囲（1:1～2:1）に入るように設計する。ただし，設定する寸法での限界吸収エネルギ量等を踏まえ，設置するネットの枚数を増やし，衝撃荷重に対する耐力を持たせるとととともにたわみ量を低減させる設計とする。

(2)　ワイヤロープ

ワイヤロープの取付部は，展開方向のワイヤロープと展開直角方向のワイヤロープで荷重の伝達分布が異なり，さらにワイヤロープの巻き方によりワイヤロープ間の荷重伝達に影響を及ぼす可能性があるため，ネットに対して 2 本をＬ字に設置することにより，ワイヤロープに作用する荷重が均一となるような設計とする。

防護ネットの基本構造において，ワイヤロープは鋼製枠内に上下 2 段設置しており，上段のワイヤロープは 40 ㎜目合いのネット 2 枚を支持するため，ワイヤロープは支持するネット枚数を考慮した設計とする。

(3)　接続冶具（支持部及び固定部）

電中研報告書の評価式を適用するため，衝突試験における試験体と同じ構造を採用しており，設計飛来物衝突時に急激な大荷重が作用するのを抑制するために，緩衝装置を四隅に設置する設計とする。

接続冶具は，ネットへの設計飛来物の衝突によりネットからワイヤロープを介して直接作用する荷重若しくは発生する応力に対して，破断することのない強度を有する設計とする。接続冶具（支持部）はワイヤロープを支持するターンバックル及びシャックルであり，接続冶具（固定部）は隅角部固定ボルト及びターンバックル又はシャックルを鋼製枠に接続する取付けプレートである。

3.2　防護鋼板の構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物のうち，その影響が設計飛来物以下となるものが外部事象防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため，設計飛来物の防護鋼板への衝突に対し，防護鋼板が貫通することなく架構に荷重を伝達し，たわみを生じても，設計飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう，防護鋼板で阻止できる設計とする。

防護鋼板の設計フローを図 3-4 に示す。

防護鋼板は，設計飛来物の衝突に対し，貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

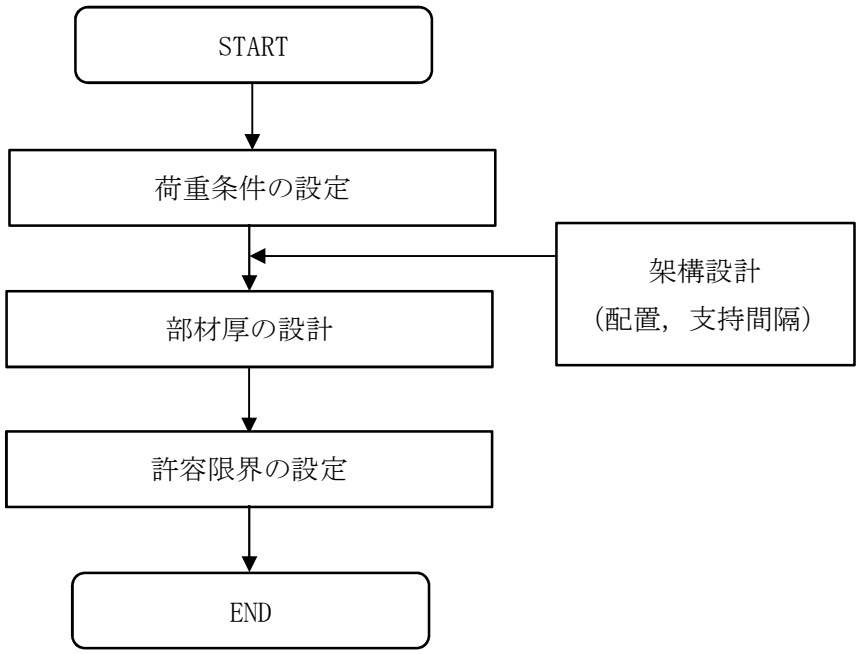


図 3-4　防護鋼板の設計フロー

3.3　架構の構造設計

「2.2　構造強度の設計方針」に基づき，外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物のうち，その影響が設計飛来物以下となるものが外部事象防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため，これらの飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護ネット及び防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，架構を構成する部材自体の脱落を生じない設計とする。

架構のうち，使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の車両防護柵については，隣接事象所からの飛来物として想定する車両の衝突に対し，車両防止柵が大規模な変形に至らず建屋に荷重を伝達し，車両が外部事象防護対象施設と衝突しないよう，車両防止柵で阻止できる設計とする。

架構の設計フローを図 3-5 に示す。

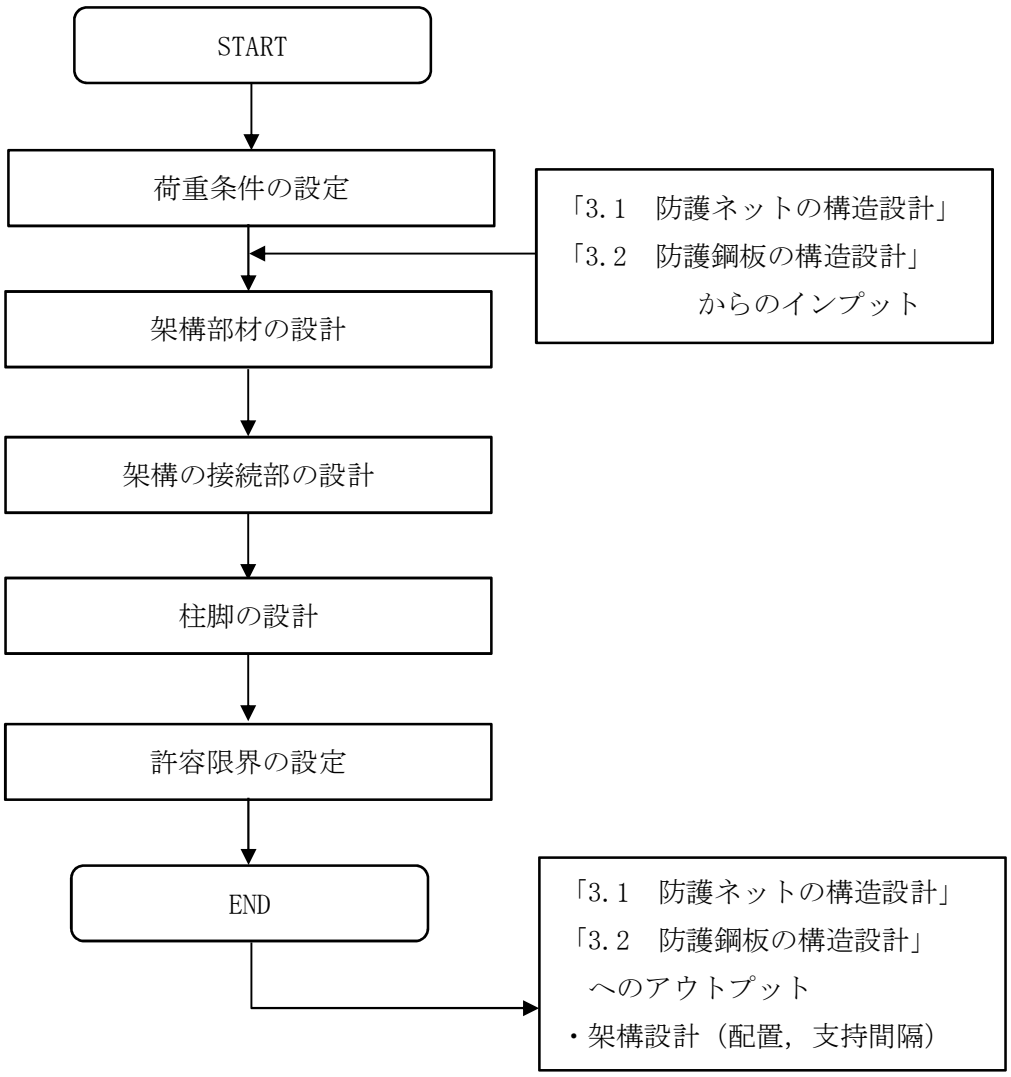


図 3-5　架構の設計フロー

架構はH形鋼等から構成し，防護ネット及び防護鋼板からの荷重を支持する設計とする。

架構は，架構部材，架構の接続部及び柱脚部より構成され，架構の接続部は溶接又はボルトにより接続し，柱脚部はアンカーボルトにより建屋等に固定する設計とする。架構の接続部については，母材と同等の耐力を有する設計とする。

防護ネット及び防護鋼板への設計飛来物衝突時の荷重は，隣り合う架構部材から柱等の主架構及び柱脚のアンカーボルトを介して建屋等へ伝達する設計とする。車両及び設計飛来物が架構に直接衝突する場合は，架構から柱脚のアンカーボルトを介して建屋等へ伝達する設計とする。

4. 防護対策施設の構成要素の評価方針

「2.3 荷重及び荷重の組合せ」，「2.5 評価方針」及び「3. 防護対策施設の構成要素の設計方針」に基づき，防護対策施設の構成要素ごとの評価方針を設定する。

防護対策施設を設計する上で，飛来物の衝突回数については，屋外の鋼製材等の飛来物となり得るものは，飛散防止管理を実施し，飛来物となるものが少なくなるように運用することにより，竜巻時及び竜巻通過時において複数の設計飛来物が同一の防護対策施設に衝突する可能性は十分低いことから，同一の防護対策施設への複数の設計飛来物の衝突は考慮しない設計とする。また，高所に設置され下方に空間を有する配置となる，中央制御室換気系開口部防護対策施設，原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設及び使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設については，これら施設の下方から，設計飛来物の様な重量がある飛来物が上昇しながら到達することは考え難いことから，防護ネット及び防護鋼板については，防護対策施設の下面には取り付けないこととする。

防護対策施設は，飛来物衝突に対し，防護対策施設を構成する部材が許容限界に至ることなく，外部事象防護対象施設が飛来物の影響を受けないことを確認する。

防護対策施設の評価フローを図 4-1 に示す。

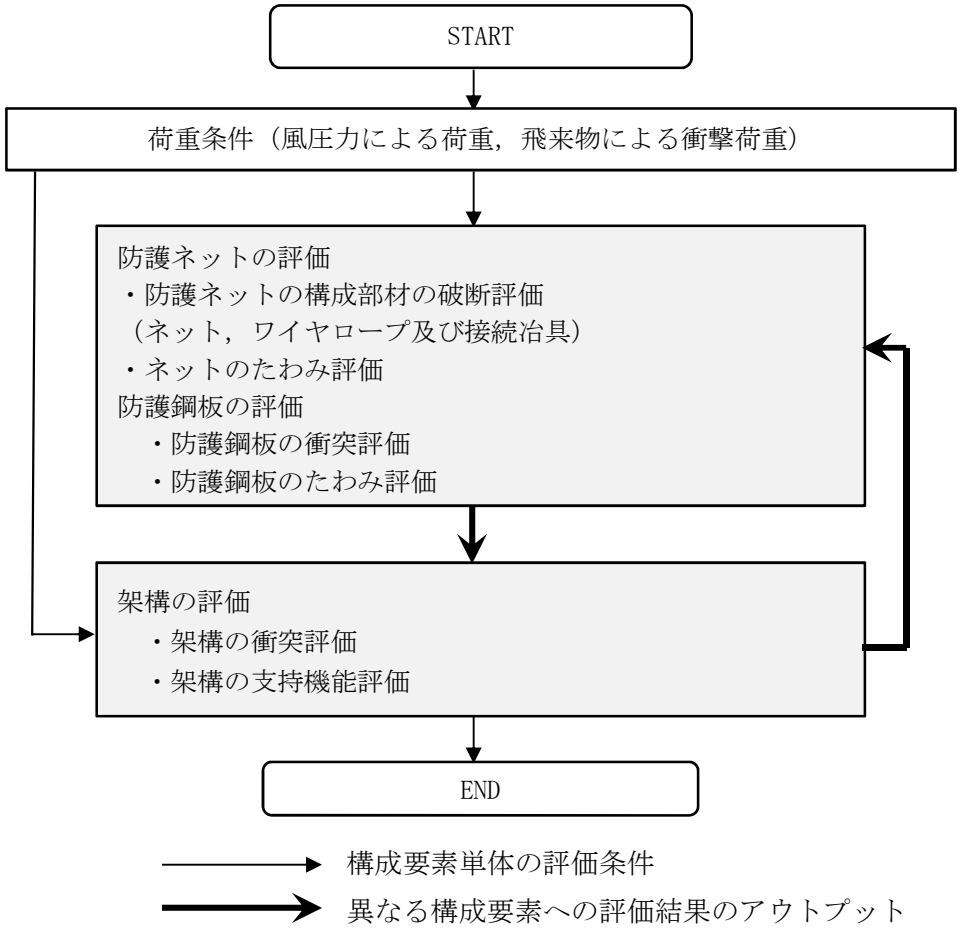


図 4-1 防護対策施設の評価フロー

4.1　防護ネットの評価方針

「2.5(1)　防護ネット」の評価方針に基づき，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，主要な部材が破断しないために，防護ネットのうちネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。その方法は，「6.1　防護ネットの強度評価」に示すとおり，算出されるネットの限界吸収エネルギ及び衝撃荷重を元に吸収エネルギ評価及び破断評価を行う。

また，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，防護ネットのうちネット及びワイヤロープにたわみが生じても，設計飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう，外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。その方法は，「6.1　防護ネットの強度評価」に示すとおり，算出されるネットのたわみ量を元にたわみ評価を行う。

防護ネットの評価フローを図 4-2 に示す。防護ネットは竜巻による荷重が作用する場合に，破断が生じることなく，たわみが生じたとしても飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないような離隔を有することを確認する。

防護ネットの破断及びたわみに対する評価方針を以下に示す。

防護ネットの具体的な計算方法及び結果は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2-1-1　防護ネットの強度計算書」に示す。

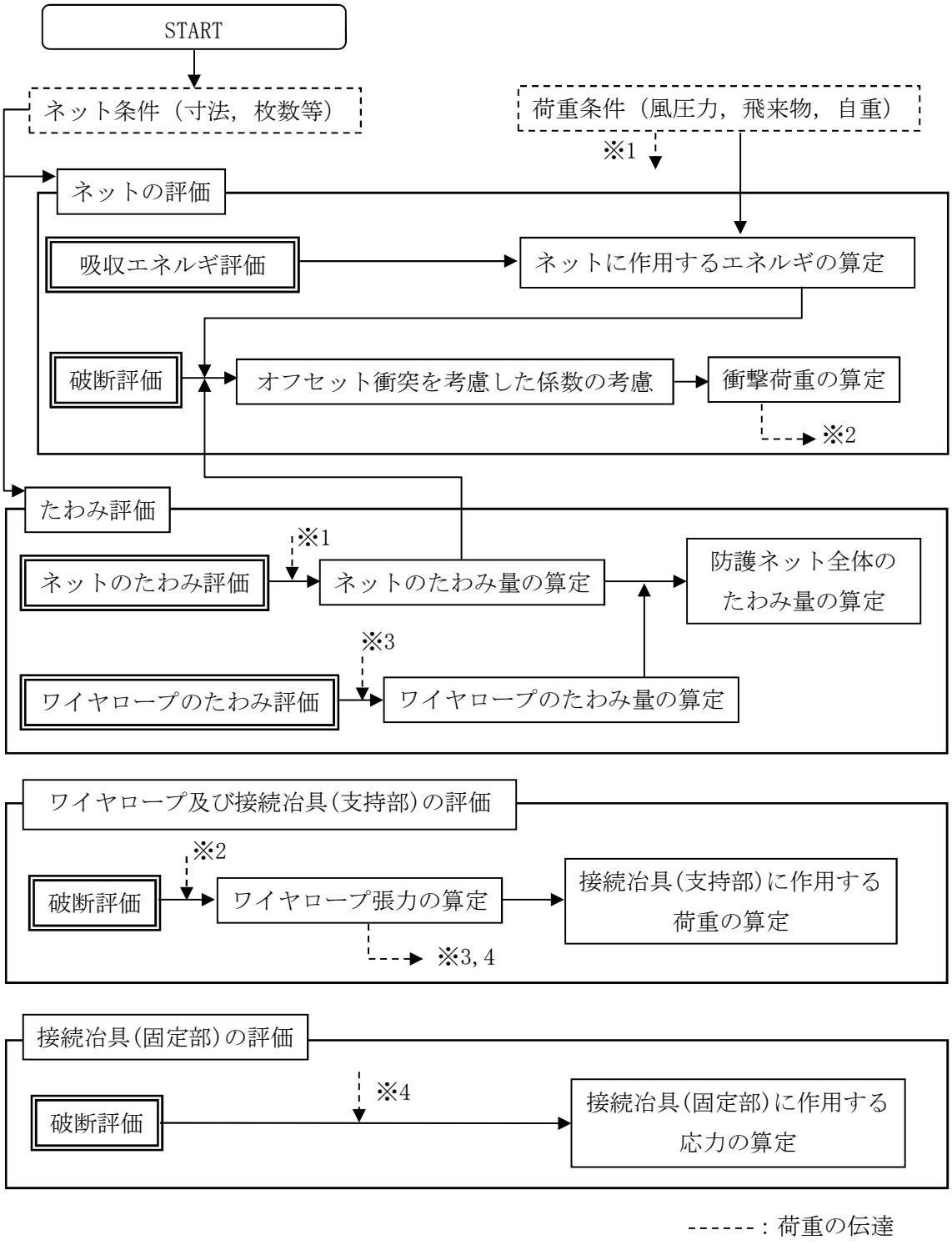


図 4-2　防護ネットの評価フロー

(1)　強度評価

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，主要な部材が破断しないために，防護ネットのうちネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。

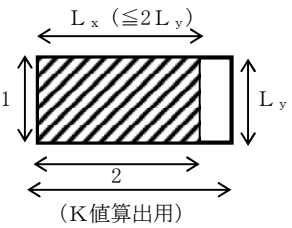
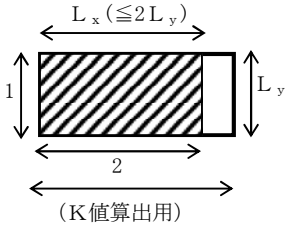
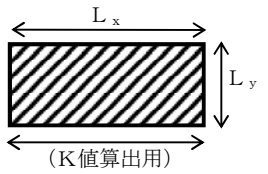
自重，風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重がネットに作用する場合に，ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認するために，以下を評価する。

ネットについては，設計竜巻による荷重が作用する場合に，ネット全体でエネルギ吸収することから，ネットの吸収エネルギを評価する。評価方法としては，電中研報告書において，ネットへの適用性が確認されている評価式（以下「電中研評価式」という。）を参照して評価する。また，設計飛来物の衝突箇所において破断が生じないことを確認するために，ネットに作用する引張荷重を，電中研評価式を参照して評価する。さらに，ネットが機能を発揮できるために，ネットに作用する荷重がワイヤロープ及び接続冶具に伝達され，その荷重によりワイヤロープ及び接続冶具（支持部）に発生する荷重，並びに接続冶具（固定部）に発生する応力が許容値以下であることを確認する。

ネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）の破断に対する評価においては，ネット寸法に対するアスペクト比及びネットの衝突位置の影響について，以下のとおり考慮して評価を実施する。

ネットのアスペクト比が 2:1 より大きな場合については，評価ごとの展開方向及び展開直角方向の寸法の設定方法を表 4-1 のとおりとする。

表 4-1　アスペクト比が 2:1 より大きな場合の評価方法

評価項目	吸収エネルギ	破断	たわみ
評価区画イメージ	限界吸収エネルギ量が小さくなるように，剛性K_xを算出するためのネット寸法を小さく設定する。  	たわみ量が小さくなることにより，作用する荷重が大きくなるように，ネット寸法を小さく設定する。  	たわみ量が大きくなるように，剛性K_xを算出するためのネット寸法を大きく設定する。 

a.　ネットの吸収エネルギ評価

ネットの吸収エネルギ評価においては，ネットの目合いの方向に従ってネット剛性を設定し，ネットのエネルギ吸収に有効な面積を考慮し，アスペクト比を考慮して，ネットの有効面積を設定し評価を実施する。また，設計飛来物の衝突位置の違いによりたわみ量の影響があり，衝突位置，ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して，評価を実施する。

ネットのアスペクト比については，ネットのエネルギ吸収性能が主に荷重を受け持つ展開方向寸法によることから，評価ごとに保守的な評価となるように，評価においてはアス

ペクト比を考慮した展開方向及び展開直角方向の寸法を設定する。

b. ネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部，固定部）の溶接部の破断評価

ネットの破断評価においては，吸収エネルギ評価と同様にネットのアスペクト比を考慮して，ネットの有効面積を設定し評価する。ネットのアスペクト比は，ネット目合いの方向を踏まえ，評価が保守的となるように，ネットの有効面積を設定して評価を実施する。また，衝突位置を考慮して評価を実施する。

ネット，ワイヤロープ及び接続冶具については，飛来物の衝突位置として，中央位置からずれた（以下「オフセット」という。）衝突についても考慮する。具体的には，電中研評価式では飛来物がネット中央位置に衝突する場合についてのみ評価を実施するため，オフセット位置に衝突する場合の評価においては，中央位置に衝突する場合とオフセット位置に衝突する場合の飛来物の移動距離を考慮した評価を実施する。

ネットのアスペクト比については，吸収エネルギ評価と同様に考慮する。

(2) たわみ評価

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために，防護ネットのうちネット及びワイヤロープが，たわみを生じても，設計飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

防護ネットは，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重がネットに作用する場合に，ネットがたわむことでエネルギを吸収することから，ネット及びワイヤロープがたわんでも，ネットと外部事象防護対象施設が衝突しないことを確認するために，ネットとワイヤロープのたわみ量を考慮して評価する。評価方法としては，電中研評価式等を用いて評価する。

ネット及びワイヤロープのたわみ評価においても，構造強度評価と同様にネット寸法に対するアスペクト比を考慮する必要があり，評価が保守的となるように，ネットの有効面積を設定して評価を実施する。

評価の条件についても，構造強度評価と同様に飛来物のネットの衝突位置を考慮して評価を実施する。

4.2 防護鋼板の評価方針

「2.5(2) 防護鋼板」の評価方針に基づき，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物を貫通させないために，防護鋼板が終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び防護鋼板の変形量が防護対策施設と外部事象防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。終局状態に至るようなひずみが確認される場合においては，その範囲を確認し飛来物が貫通するものでないことを確認する。

防護鋼板の評価フローを図 4-3 に示す。

防護鋼板の具体的な計算方法及び結果は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書」に示す。

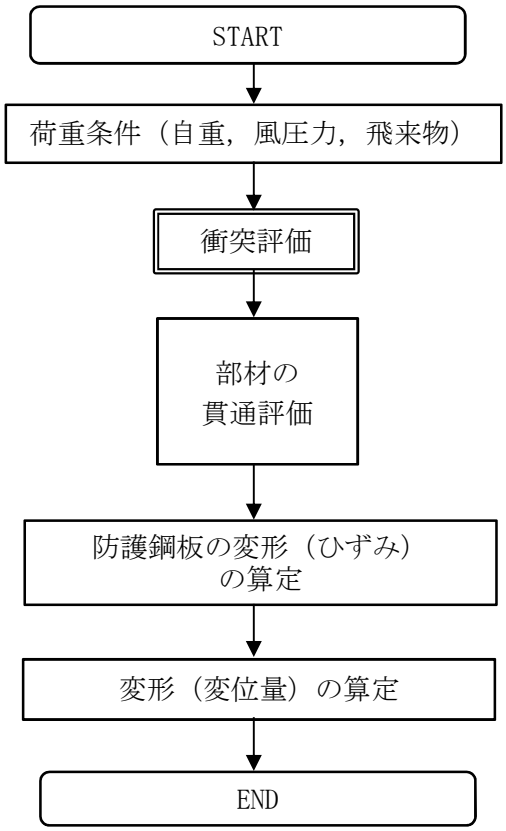


図 4-3　防護鋼板の評価フロー図

(1)　衝突評価

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，防護対策施設の外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないために，防護鋼板が終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び防護鋼板の変形量が防護対策施設と外部事象防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを解析により確認する。評価方法は，ＦＥＭを用いた解析とする。

4.3　架構の評価方針

「2.5(3)　架構」の評価方針に基づき，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物を貫通させないために，架構部材が終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び架構部材の変形量が防護対策施設と外部事象防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを解析により確認する。終局状態に至るようなひずみが確認される場合においては，その範囲を確認し飛来物が貫通するものでないことを確認する。

また，上載する防護ネット及び防護鋼板の自重並びに防護ネット，防護鋼板及び架構への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する構造強度を有することの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構部材に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていること並びに架構全体に防護対策施設の

倒壊に至るような変形が生じないことを解析により確認する。架構の接続部については，母材と同等の耐力を有することから架構部材の評価に包絡される。

さらに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，架構全体が倒壊を生じないことの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構部材および架構と建屋等のボルト接合のアンカーボルトが破断を生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていることを解析により確認する。

架構の評価フローを図 4-4 に示す。

架構の具体的な計算方法及び結果は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2-1-3　架構の強度計算書」に示す。

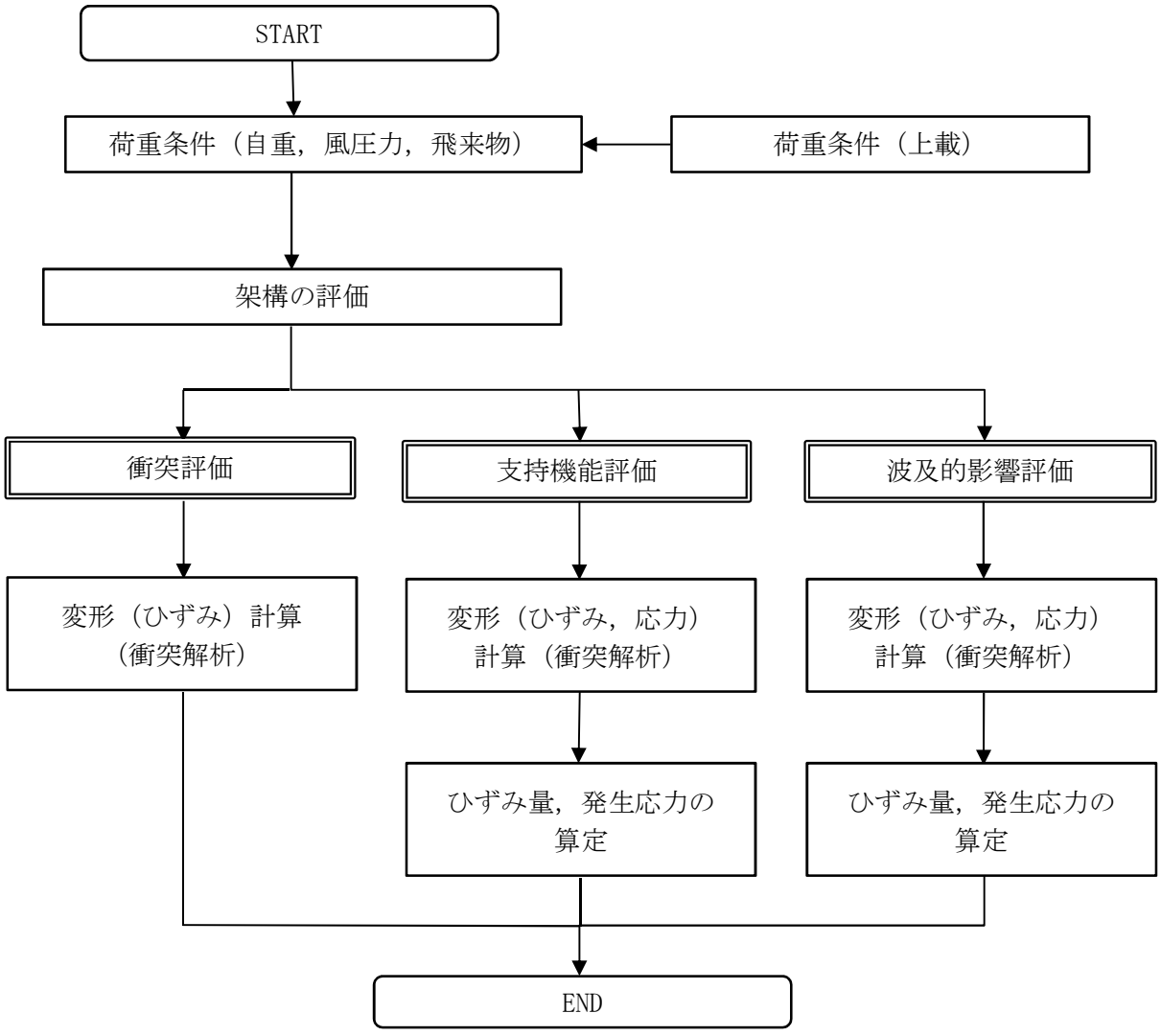


図 4-4　架構の評価フロー図

(1)　衝突評価

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構を構成する部材が飛来物を貫通させないために，架構部材が終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び部材の変形量が防護対策施設と外部事象防護対象施設の離隔距離に対して

妥当な安全余裕を有することを解析により確認する。評価方法は，ＦＥＭを用いた解析とする。

但し，車両防護柵については，防護柵の部材に対する車両の衝突は局部的な事象ではないと考えられるため，貫通については考慮しない。

(2) 支持機能評価及び波及的影響評価

上載する防護ネット及び防護鋼板の自重並びに防護ネット，防護鋼板及び架構への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する構造強度を有すること及び外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないことの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構部材及び架構と建屋等のボルト接合のアンカーボルトに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていること並びに架構全体に防護対策施設の倒壊に至るような変形が生じないことを解析により確認する。

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重が架構に作用する場合に，以下のとおり評価する。

a. 架構部材

架構部材については，ひずみ量若しくは応力度を評価し破断が生じないことを確認する。評価方法は，ＦＥＭを用いた解析とする。

b. 架構全体

架構全体については，飛来物が衝突した際の衝撃荷重により架構全体に作用する応答加速度に対して，架構及び架構と建屋等のボルト接合部のアンカーボルトにおいて，十分な余裕を持った強度が確保されていることを確認する。評価方法は，ＦＥＭを用いた解析とする。

5. 許容限界

「2.5 評価方針」及び「4. 防護対策施設の構成要素の評価方針」を踏まえ，防護対策施設の構成要素ごとの設計に用いる許容限界を設定する。

5.1 防護ネットの許容限界

5.1.1 許容限界の設定

(1) 強度評価

防護ネットは，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対する評価を行うため，破断せず，荷重が作用するとしても防護ネットが内包する外部事象防護対象施設に設計飛来物を衝突させないために，防護ネットの主要な部材が，破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを許容限界として設定する。

防護ネットのうちネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）の許容限界を以下のとおり設定する。

a. ネット

ネットの許容限界は，吸収エネルギ評価及び破断評価（引張荷重評価）において設定する。

吸収エネルギ評価は，設計飛来物によりネットに与えられる全エネルギがネットの限

界吸収エネルギ以下であることにより，ネットが破断しないことを確認することから，ネットの限界吸収エネルギを許容限界とする。

破断評価は，ネットが破断を生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としている。ネットは，飛来物の衝突に対し，塑性変形することでエネルギを吸収し，飛来物を捕捉することから，飛来物の衝撃荷重に対し，ネットの許容引張荷重を許容限界とする。ネットの許容限界を表 5-1 に示す。

表 5-1　ネットの許容限界

許容限界	
吸収エネルギ評価の許容値	破断評価の許容値
ネット設置枚数ｎを考慮した 限界吸収エネルギ	ネット設置枚数を考慮した 許容引張荷重
E_{max}	F_{max}

b.　ワイヤロープ

ワイヤロープの端部にはワイヤグリップを取付ける。一般にワイヤロープの破断荷重の値はメーカの引張試験によればＪＩＳ規格値よりも大きいので，ワイヤロープの許容限界は，ＪＩＳに規定する破断荷重にワイヤグリップ効率C_Cを乗じた値とする。

ワイヤロープの許容限界を表 5-2 に示す。

表 5-2　ワイヤロープの許容限界

規格値	許容値
F_3*1	C_C*2・F_3*1

注記　＊1：ＪＩＳ Ｇ ３５４９の破断荷重

＊2：ＪＩＳ Ｂ ２８０９及び（社）日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

c.　接続冶具（支持部）

接続冶具（支持部）の強度評価は，接続冶具（支持部）として，ワイヤロープを支持するターンバックル及びシャックルが，ワイヤロープから受ける引張荷重に対し，破断が生じない十分な強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ，ターンバックルについてはＪＩＳに規定する保証荷重の 1.5 倍を，シャックルについては試験結果に基づくメーカ保証値を許容限界とする。

ターンバックル及びシャックルの許容限界を表 5-3 に示す。

表 5-3　ターンバックル及びシャックルの許容限界

評価部位	許容荷重
ターンバックル	F_4*1
シャックル	F_5*2

注記　＊1：ＪＩＳ　Ａ　５５４０の保証荷重の 1.5 倍

＊2：試験結果に基づくメーカ保証値

d.　接続冶具（固定部）

接続冶具（固定部）の破断評価は，接続冶具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付けプレートが，破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「その他の支持構造物」の許容限界を適用し，許容応力状態$Ⅳ_AS$から算出した許容応力を許容限界とする。設計竜巻による荷重は，ネットに作用し，ワイヤロープを介して接続冶具に作用するため，評価対象は，接続冶具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付けプレートとする。取付けプレートは，プレート本体，プレートと鋼製枠，プレートとリブ及び鋼製枠とリブの溶接部が存在するが，強度評価上，溶接脚長が短い取付けプレートとリブの溶接部を評価対象部位とする。

接続冶具の許容限界を表 5-4 に示す。

表 5-4　接続冶具の許容限界

許容限界
せん断
$1.5f_s$*

注記　＊：f_s：許容せん断応力　ＪＳＭＥ　SSB-3120 又は SSB-3130 に規定される値

(2)　たわみ評価

防護ネットは，飛来物衝突時にたわんだとしても，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することがないよう，十分な離隔を有していることを確認する評価方針としていることを踏まえ，ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離L_{min}を許容限界として設定する。

防護ネットのたわみ評価の許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-5　防護ネットのたわみ評価の許容限界

許容限界
防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離
L_{min}

5.1.2　許容限界の設定方法

(1)　記号の定義

防護ネットのうち，ネットの強度評価における許容値の算出に用いる記号を表 5-6 に示す。

表 5-6　ネットの強度評価における許容値の算出に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	ネット 1 目合いの対角寸法
a_s	mm	ネット 1 目合いの破断変位
b	mm	設計飛来物の端面の長辺方向寸法
c	mm	設計飛来物の端面の短辺方向寸法
E_i	kJ	i 番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギ
E_{max}	kJ	ネット設置枚数 n を考慮した限界吸収エネルギ
F_i	kN	設計飛来物衝突時の i 番目の列における作用力
F_{max}	kN	ネット設置枚数 n を考慮した防護ネットの許容破断荷重
F_{40}	kN	40 mm 目合いネットの 1 交点当たりの許容引張荷重
K	kN/m	ネット 1 目合いの等価剛性
K_x	kN/m	ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y	m	ネット展開直角方向寸法
n	－	主金網の設置枚数
N_i	－	i 列目のネット展開直角方向目合い数
N_x	－	ネット展開方向目合い数
N_y	－	ネット展開直角方向目合い数
P_i	kN	設計飛来物衝突時にネットに発生する i 番目の列における張力
X_i	m	i 列目のネットの伸び
δ_i	m	設計飛来物衝突時の i 番目の列におけるネットのたわみ量
δ_{max}	m	ネットの最大たわみ量
θ_i	deg	i 番目の列におけるネットたわみ角
θ_{max}	deg	ネットの最大可能なたわみ角

(2)　吸収エネルギ評価

吸収エネルギ評価においては，計算により算出するネットの限界吸収エネルギがネットに作用するエネルギ以上であることにより，ネットが破断しないことを確認する。ネット1 目合いの要素試験の結果から得られる目合い方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり，ネット最大変形角におけるエネルギ吸収量がネットの有する最大吸収エネルギE_{max}となる。この値に以下の係数を考慮した値を吸収エネルギ評価の許容限界とする。

限界吸収エネルギは，複数枚を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデルにて算出する。また，ネットの変形及び吸収エネルギの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギ評価の結果，電中研報告書を参照して，ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり，ネットに発生する張力も一定となることから，飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり，オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギは中央衝突時と同等となる。したがって，吸収エネルギ評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

限界吸収エネルギは，ネット1 目合いの展開方向の1 列の等価剛性，展開方向寸法及びたわみ量から，以下のとおり算出される。吸収エネルギ評価におけるネットのモデル図を図 5-1 に示す。

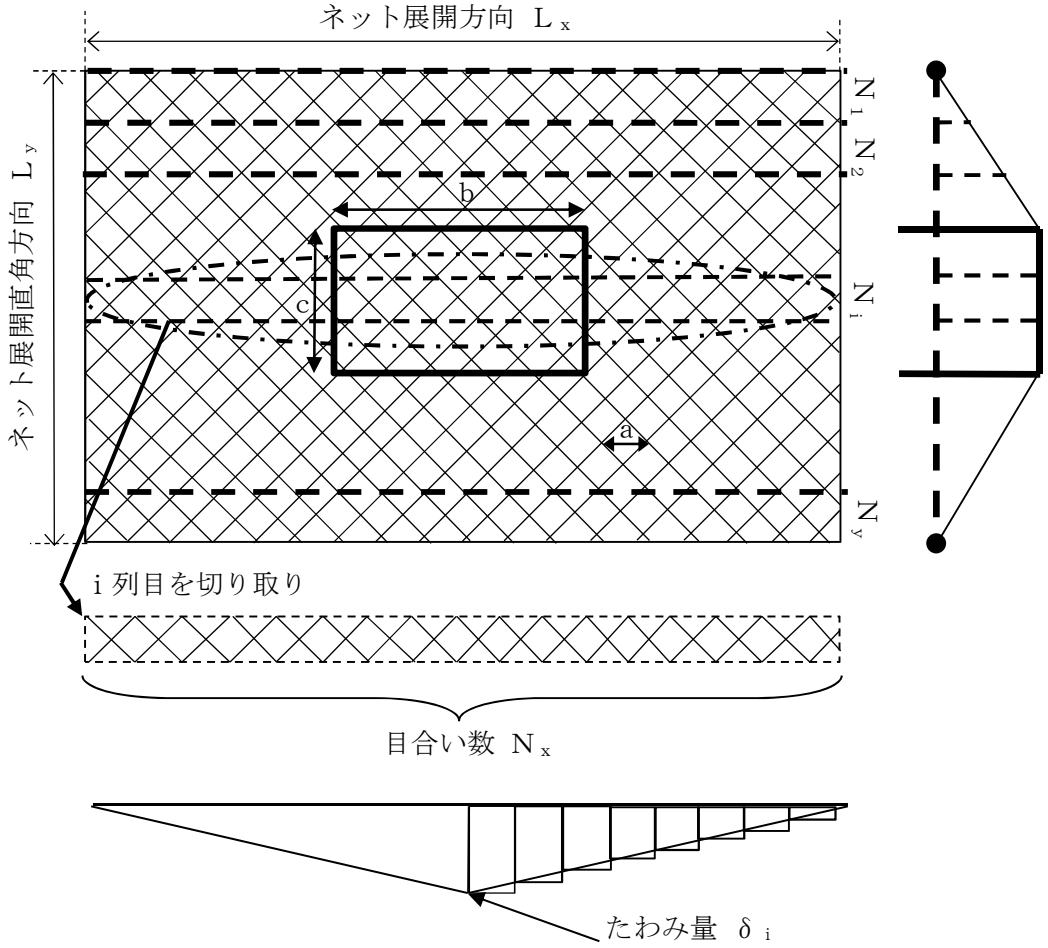


図 5-1 吸収エネルギ評価におけるネットのモデル図

図 5-1 に示すとおりネットの展開方向に 1 目合いごとに [ ] で囲った形に帯状に分割し，N_1からN_yまでの各列が分担するエネルギを各列のたわみ量から算定し，それらを積算することによりネットが吸収するエネルギを算出し，ネットが吸収可能な限界吸収エネルギを算出する。

ただし，中央部の最大たわみ量が発生する列数は，設計飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算出されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法（b × c）及びネット目合いの対角寸法 a を考慮し，最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。ネットの吸収エネルギが小さくなるよう，目合い列数の算出に用いる設計飛来物の寸法として軸方向断面の小さい方の寸法 c を適用し，最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより，限界吸収エネルギ量が小さくなるように評価する。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

評価モデルとしては，展開方向に 1 目合いごとに帯状に分割するモデルとしており，限界吸収エネルギ量が小さく算出されるよう，三角形モデルとして評価を実施する。

吸収エネルギ評価の許容限界の算定フローを図 5-2 に示す。

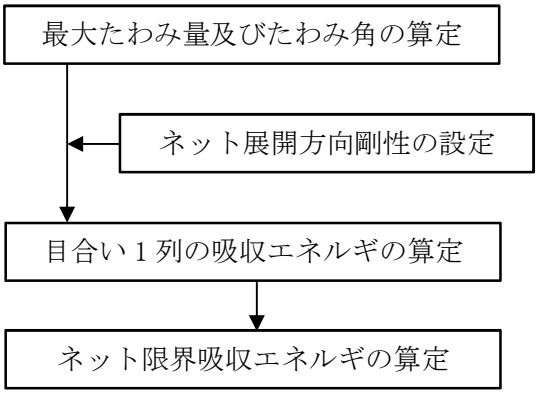
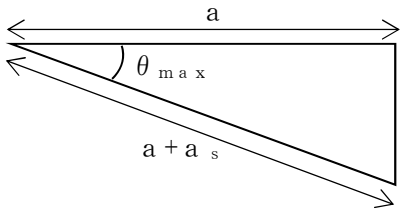


図 5-2　吸収エネルギ評価の許容限界の算定フロー

ネット 1 目合いの最大伸び量は，電中研報告書のネット目合いの引張試験から求められ，そこから算出する最大たわみ角から，飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量δ_{max}は次式により算定される。

$$\delta_{max}=\frac{L_x}{2}\tan\theta_{max}$$

$$\theta_{max}=\cos^{-1}\left(\frac{a}{a+a_s}\right)$$



ネットを構成するネットの展開方向の目合い数N_xは，ネット展開方向寸法L_x及びネット 1 目合いの対角寸法 a から求める。展開直角方向の目合い数N_yは，ネット展開直角方向寸法L_y及びネット 1 目合いの対角寸法 a から求める。ネットを構成する 1 目合いはそれぞれKの等価剛性を持っているため，1 目合い当たりバネ定数Kを持つバネをN_x個直列に接続したものと考えることができる。そのため，1 列当たりの剛性K_x’は，

$$N_x=\frac{1000\cdot L_x}{a},\qquad N_y=\frac{1000\cdot L_y}{a}$$

ネット展開方向剛性　$K_x'=\frac{K}{N_x}$

となる。ただし，N_x，N_yの算出において限界吸収エネルギの値が小さくなるようにN_xは保守的に切り上げ，N_yは保守的に切り捨てた値を用いる。また，ネット設置枚数を考慮したネット展開方向剛性K_xは，次式により算出される。電中研報告書によると，40 ㎜目合いの補助金網は，飛来物落下試験において 40 ㎜目合い 0.5 枚相当の吸収エネルギ能力を有していることが確認されていることから，補助金網については，40 ㎜目合いの金網 0.5 枚として考慮する。

$$K_X=K_X'(n+0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量δ_iは，最大たわみ量δ_{max}から定着部のたわみ量 0 までの間を，非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大たわみ量と最大たわみ角を図 5-3 に示す

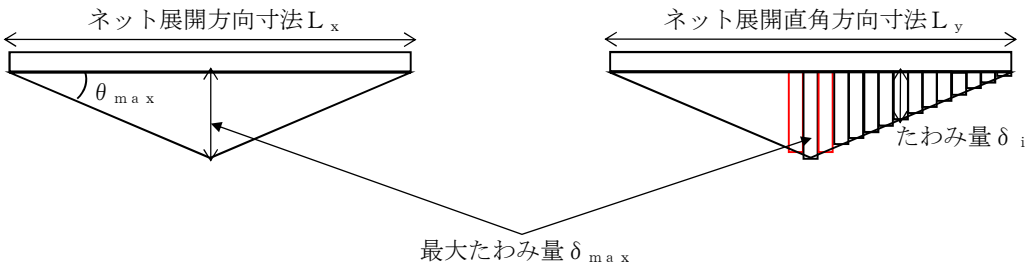
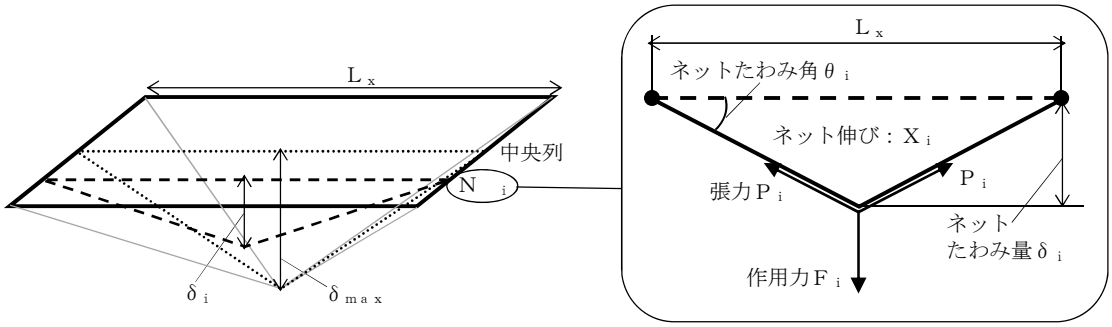


図 5-3　ネットの最大たわみ量と最大たわみ角

ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を，ネットの剛性及びネットの伸び量から算出する。ネットに作用する力のつり合いを図 5-4 に示す。



Ｎｉ列における荷重と変形状態

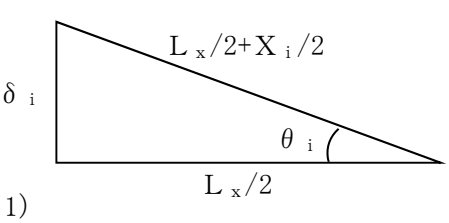
図 5-4　ネットに作用する力のつり合い

ｉ番目の列におけるネットの張力Ｐｉは，飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると，伸び量はＸｉ/2，剛性は 2Ｋｘとなることから，

$$P_i = 2 \cdot K_x \cdot \left(\frac{X_i}{2}\right)$$
$$= K_x \cdot X_i$$

となる。また，作用力Ｆｉは変位量とたわみ量の関係から，

$$F_i = 2 \cdot P_i \cdot \sin\theta_i$$
$$= 2 \cdot K_x \cdot X_i \cdot \sin\theta_i$$
$$= 2 \cdot K_x \cdot L_x\left(\tan\theta_i - \sin\theta_i\right)$$
$$= 4 \cdot K_x \cdot \delta_i\left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^{\,2} + L_x^{\,2}}}\right) \quad \cdots \quad (5.1)$$



ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる作用力Ｆｉを積分することによりｉ番目の列における吸収エネルギＥｉを次式に示す。

$$E_i = \int_0^{\delta_i} F_i \cdot d\delta$$

$$= \int_0^{\delta_i} 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \quad \cdot \cdot \quad (5.2)$$

以上から，ネット設置枚数ｎを考慮した限界吸収エネルギE_{max}は，各列の吸収エネルギE_iを第１列から第N_y列まで積算することにより求められる。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} E_i$$

$$= \sum_{i-1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\} \quad \cdot \cdot \quad (5.3)$$

(3)　許容引張荷重の評価

防護ネットの許容引張評価においては，計算により算出する防護ネットの許容引張荷重が設計飛来物の衝撃荷重以上であることにより，ネットが破断しないことを確認する。

40 ㎜目合いの防護ネットに設計飛来物（鋼製材）が衝突した評価モデルを図 5-5 に示す。

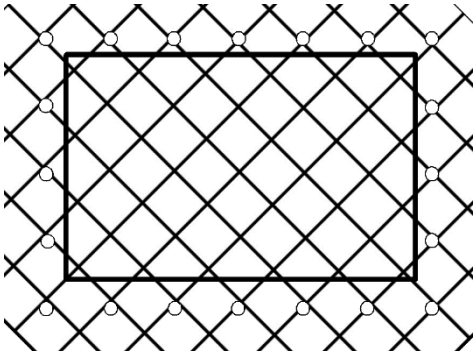


図 5-5　40 ㎜目合いの防護ネットに設計飛来物が衝突した評価モデル

防護ネットの許容引張荷重はネットの１交点当たりの許容引張荷重から定まり，設計飛来物衝突時の周辺交点数から算出される許容引張荷重を許容限界とする。

図 5-5 に示すように，40 ㎜目合いのネットは設計飛来物（鋼製材）が衝突した際，20 交点が接触するため，許容引張荷重F_{max}は以下のとおり算出される。

$$F_{max} = F_{40} \cdot 20 \cdot (n+1)$$

5.2　防護鋼板の許容限界

5.2.1　衝突評価

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，施設の外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないために，防護鋼板が終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，破断ひずみを許容限界として設定する。破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，「ＮＥＩ　０７－１３：Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design」（以下「ＮＥＩ　０７－１３」という。）において，ＴＦ（多軸性係数）を 2.0 とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕としてＴＦ＝2.0 を考慮して設定する。破断ひずみを超えるようなひずみが確認される場合においては，その範囲を確認し飛来物が貫通するものでないことを確認する。

また，防護鋼板の変形による内包する外部事象防護対象施設への影響がないことを確認するために，飛来物の衝突方向の変位量を求め，その許容限界は外部事象防護対象施設までの距離に妥当な安全余裕を考慮して設定する。

5.3　架構の許容限界

5.3.1　衝突評価

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物を貫通させないために，架構部材が終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，破断ひずみを許容限界として設定する。破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，「ＮＥＩ　０７－１３」において，ＴＦ（多軸性係数）を 2.0 とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕としてＴＦ＝2.0 を考慮して設定する。破断ひずみを超えるようなひずみが確認される場合においては，その範囲を確認し飛来物が貫通するものでないことを確認する。

但し，車両防護柵については，防護柵の部材に対する車両の衝突範囲は局部的な事象とならないため，貫通については考慮しない。

5.3.2　支持機能評価，波及的影響評価

上載する防護ネット及び防護鋼板の自重並びに防護ネット，防護鋼板及び架構への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する構造強度を有すること及び外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないことの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構部材および架構と建屋等のボルト接合のアンカーボルトに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていること並びに架構全体に防護対策施設の倒壊に至るような変形が生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，以下のとおり許容限界を設定する。

(1)　架構部材

車両防護柵以外の架構部材の評価は，局所的なひずみの影響を考慮し，ひずみ量を評価し，破断が生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，破断ひずみを許容

限界として設定する。破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが「ＮＥＩ　０７－１３」において，ＴＦ（多軸性係数）を 2.0 とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕としてＴＦ＝2.0 を考慮して設定する。最大ひずみが破断ひずみを超える場合には，破断箇所を確認し全断面に発生しないことを確認する。

車両防護柵に対しては，接触面の大きい車両の衝突においては，部材全体の変形が支配的と考えられるため，架構全体の評価に包含される。

(2)　架構全体

架構全体の評価は，飛来物が衝突した際の衝撃荷重により架構全体に作用する応答加速度に対して，十分な余裕を持った強度が確保されていることを確認する評価方針としていることを踏まえ，架構においては，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを確認するため，ＪＥＡＧ４６０１等に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力を許容限界とする。

6.　強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・定式化された評価式を用いた解析法

・ＦＥＭ等を用いた解析法

6.1　防護ネットの強度評価

(1)　評価方針

a.　ネットの限界吸収エネルギの算出においては，ネットの展開直角方向に１目合い毎に帯状に分割し，各列が分担するエネルギを各列のたわみ量から算定し，それらを積算することによりネットの吸収するエネルギを算出する。

b.　ネットの限界吸収エネルギの算出においては，ネットを構成する１目合いはそれぞれＫの等価剛性を持っているため，1 列当たりバネ定数Ｋを持つバネを$\mathrm{N_X}$個直列に接続したものと考える。

c.　自重と風圧力によるネットに作用する荷重は，ネット全体に等分布荷重として作用するものであり，ネット展開直角方向に対しては荷重が均一となるよう作用させる。

d.　一方，ネット展開方向に対しては，設計モデル上均一に荷重を作用させることが困難であるため，保守的にエネルギ量が大きくなるよう，自重及び風圧力によりネットに作用する荷重$\mathrm{F_W}$が全てネット展開方向$\mathrm{L_X}$の中央に作用したとして，ネットにかかる作用力の式を用いて１列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギを算出し，列数倍することでネット全体が自重及び風圧力による荷重により受けるエネルギを算出する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6-1 に示す。

表 6-1　評価対象部位及び評価内容

評価対象部位		評価内容
ネット		・限界吸収エネルギ ・引張 ・たわみ
ワイヤロープ		・引張 ・たわみ*
接続冶具（支持部）	ターンバックル	・引張
	シャックル	・引張
接続冶具（固定部）	隅角部固定ボルト	・せん断
	取付けプレート溶接部	・せん断

注記　＊：防護ネット全体のたわみ評価に用いる。

(3)　強度計算

a.　記号の定義

ネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部，固定部）の強度評価に用いる記号を表 6-2 に示す。

表 6-2　ネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）の強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
a_w	mm	取付けプレート溶接部ののど厚
A_C	mm^2	隅角部固定ボルトの断面積
E_f	kJ	設計飛来物衝突時にネットに作用するエネルギ
E_i	kJ	ｉ番目の列におけるネットの吸収可能エネルギ
E_{max}	kJ	ネット設置枚数ｎを考慮した限界吸収エネルギ
E_t	kJ	ネット設置枚数ｎを考慮したネットに作用する全エネルギ
E_w	kJ	自重及び風圧力によりネットに作用するエネルギ
F_2	kN	設計飛来物衝突時にネット目合い1箇所が受ける衝撃荷重の最大値
F_a	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F_a'	kN	設計飛来物衝突時にネットが受けるオフセット衝突を加味した最大衝撃荷重
F_i	kN	設計飛来物衝突時のｉ番目の列における作用力
F_p	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重

表 6-2　ネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）の強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
F_{p1}	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に1本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
F_{p2}	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に2本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
F_x	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用するＸ方向の合成荷重
F_y	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用するＹ方向の合成荷重
F_w	kN	自重及び風圧力によりネットに作用する荷重
K_x	kN/m	ネット設置枚数を考慮したネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
L	mm	面取り長さ
L_b	mm	変形前のワイヤロープ長さ
L_{Pr}	mm	取付けプレートの有効抵抗幅
L_{pw}	mm	溶接部の有効長さ
L_{p1}	mm	取付けプレート長さ（縦方向）
L_{p2}	mm	取付けプレート長さ（横方向）
L_s	mm	直線区間のワイヤロープの変形後の長さの合計
L_x	m	ネット展開方向寸法　（吸収エネルギ，破断及びたわみ設計が安全側となるよう考慮する。）
L_y	m	ネット展開直角方向寸法　（吸収エネルギ，破断及びたわみ設計が安全側となるよう考慮する。）
L_y'	m	飛来物衝突の影響範囲
L_z	m	ワイヤロープの全長
m	kg	設計飛来物の質量
n	－	ネット設置枚数
n_1	－	飛来物の衝突位置周辺のネット1枚当たりの目合いの個数
n_2	－	隅角部固定ボルト本数
N_y	－	ネット展開直角方向目合い数
P_w	kN	ネットの自重により作用する荷重
S	mm	すみ肉厚さ
S_x	mm	ネット展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さ
S_y	mm	ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さ
V	m/s	設計飛来物の飛来速度
T'	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりネットに発生する張力
T_1'	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりワイヤロープに発生する張力

表 6-2　ネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）の強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
T_1”	kN	補助金網を支持しているワイヤロープに発生する張力
T_x	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開方向のワイヤロープから発生するＸ方向の荷重
T_x’	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するＸ方向の荷重
T_y	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開方向のワイヤロープから発生するＹ方向の荷重
T_y’	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するＹ方向の荷重
W_w	kN	風圧力による荷重
Z	mm^3	溶接部断面係数
ε	－	ワイヤロープのひずみ量
δ	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
δ’	m	変形によるワイヤロープ伸び量
δ_a	m	自重及び風圧力による荷重によるたわみ量
δ_i	m	設計飛来物衝突時のｉ番目の列におけるネットのたわみ量
δ_L	m	直線区間のワイヤロープのたわみ量
δ_t	m	ネットとワイヤロープの合計たわみ量
δ_w	m	ワイヤロープのたわみ量
δ_{wx}	m	ネット展開方向に平行に配置したワイヤロープの変形後のたわみ量
δ_{wy}	m	ネット展開方向に直交に配置したワイヤロープの変形後のたわみ量
θ	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
θ_{w1}	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
θ_{w2}	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
θ_x	deg	設計飛来物衝突時のネット展開方向に平行のネットたわみ角
θ_y	deg	設計飛来物衝突時のネット展開直角方向に平行のネットたわみ角
τ_s	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
τ_w	MPa	溶接部に発生するせん断応力

b.　吸収エネルギ評価

吸収エネルギ評価においては，電中研評価式を参照して，ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギ算出のモデル化を行い，設計飛来物による衝突荷重，風圧力による荷重及び自重によるエネルギを算出する。

評価においては，複数枚の重ね合わせたネットを一体として考えたモデルにて評価を実施する。

（5.3）式より，E_{max}は以下のとおりである。

$$E_{max}=\sum_{i-1}^{N_y}\left\{2\cdot K_x\cdot \delta_i^{\,2}-K_x\cdot L_x\left(\sqrt{4\cdot \delta_i^{\,2}+L_x^{\,2}}-L_x\right)\right\}$$

自重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重は，ネット全体に等分布荷重として作用するものであるため，実現象に合わせネット展開直角方向に対しては荷重が等分布となるよう作用させる。一方，ネット展開方向に対しては，評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため，ネットに作用するエネルギ量が保守的に大きくなるよう，F_wがすべてネット展開方向L_xの中央に作用したとして，ネットにかかる作用力の式を用いて１列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギを算出し，列数倍することでネット全体が自重及び風圧力による荷重により受けるエネルギを算出する。

評価条件であるK_x及びL_x並びに自重及び風圧力による荷重から算出するF_wを（5.1）式のF_iに代入して数値計算を実施することにより，自重及び風圧力による荷重によるたわみ量δ_aが算出される。

$$F_w=N_y\cdot 4\cdot K_x\cdot \delta_a\left(1-\frac{L_x}{\sqrt{4\cdot \delta_a^{\,2}+L_x^{\,2}}}\right)$$

ただし，$F_w=P_w+W_w$

上式にて算出したδ_aを（5.3）式において，展開方向の１列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギを列数倍する以下の式に代入することにより，自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギE_wが算出される。

$$E_w=N_y\left\{2\cdot K_x\cdot \delta_a^{\,2}-K_x\cdot L_x\left(\sqrt{4\cdot \delta_a^{\,2}+L_x^{\,2}}-L_x\right)\right\}$$

設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギE_fとしては，衝突時の設計飛来物の運動エネルギとして，以下より求められる。

$$E_f=\frac{1}{2}\cdot m\cdot V^2$$

設計飛来物の飛来速度は，ネットの設置方向により，水平設置の場合は鉛直の飛来速度，鉛直設置の場合は水平の飛来速度にて算出する。斜め方向から衝突した場合の飛来速度の水平方向速度成分及び鉛直方向速度成分は，評価に用いる水平最大飛来速度及び鉛直最大飛来速度を下回る。また，設計飛来物がネットの設置方向に対して斜め方向から衝突する場合は，設計飛来物が衝突後に回転し，ネットと設計飛来物の衝突面積が大きくなるため，ネットに局部的に作用する荷重は小さくなる。したがって，設計飛来物の衝突方向は，ネットに局部的に作用する荷重が大きくなるようにネットに対して垂直に入射するものとし，その飛来速度はネットの設置方向に応じ，水平設置の場合は鉛直最大飛来速度，鉛直設置の場合は，水平最大飛来速度を用いる。

以上から，ネット設置枚数ｎを考慮したネットに作用する全エネルギE_tが以下のとおり算出される。

$$E_t=E_f+E_w \quad \cdot\cdot \ (6.1)$$

c.　破断評価

(a)　ネットの引張荷重評価

防護ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値F_aは，「2.3　荷重及び荷重の組合せ」にて算出した（2.8）式のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

設計飛来物の衝突による荷重に加え，自重及び風圧力による荷重を考慮するため，E_fをE_tと置き換えて，（2.8）式より，

$$F_a=\frac{8\cdot E_t}{3\cdot \delta}$$

となる。

E_tとしては，（6.1）式により設計飛来物による運動エネルギE_f並びに自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギE_wから算出したネットに作用する全エネルギ量を代入する。δとしては，たわみ評価で算出する設計飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量を代入し，F_aを算出する。

ここで，オフセット衝突による衝撃荷重の増加分による係数 1.22 を考慮し，衝撃荷重の最大値F_a’は，

F_a’＝ 1.22 ・F_a

にて算出される。

(b)　ワイヤロープの破断評価

破断評価における衝撃荷重と，ネットとワイヤロープの接続構造からワイヤロープに作用する荷重を導出する。

ワイヤロープの設計において，ワイヤロープに発生する荷重として以下を考慮する。

①　ネットの自重により作用する荷重

②　風圧力によりネットに作用する荷重

③　設計飛来物の衝突によりネットに作用する衝撃荷重

防護ネットは，電中研報告書と同様に 2 本のワイヤロープをＬ字に設置し，さらにワイヤロープが緩衝材により拘束されない構造としており，衝突試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。

自重，風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重によりネットに作用する衝撃荷重の最大値F_a’が集中荷重として作用するとしてモデル化すると，設計飛来物が衝突する場合の設置枚数ｎを考慮したネットに発生する張力の合計である張力Ｔ’は，図 6-1 に示すネットに発生する力のつりあいより以下のとおり算出され，各辺のワイヤロープが結合されていることから張力が一定となるため，ワイヤロープ１本が負担する張力は$\frac{T'}{2}$と設定する。

$$T'=\frac{F_a'}{2\cdot \sin\theta}$$

ただし，θは以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1}\frac{2\cdot\delta}{L_x}$$

ネットに発生する力のつりあいを図 6-1 に示す。

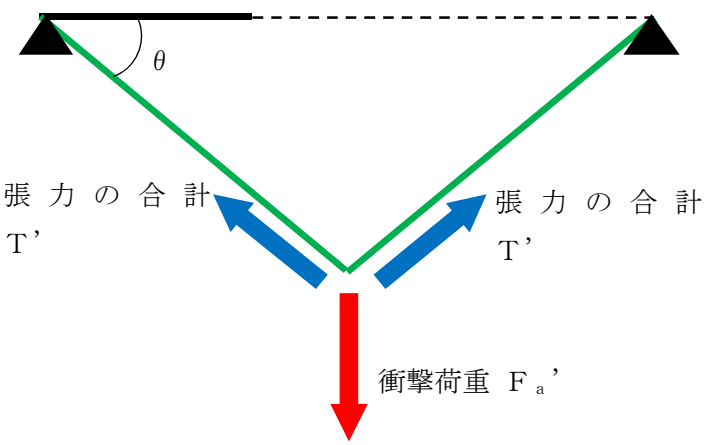


図 6-1　ネットに発生する力のつりあい

主金網をｎ枚重ねて設置する場合，1 枚のネットのワイヤロープ 1 本に発生する張力の最大値T_1’は，

$$T_1' = \frac{T'}{2}\cdot\frac{1}{n} = \frac{F_a'}{4\cdot n\cdot \sin\theta}$$

と算出される。

さらに，ワイヤロープが支持するネットの枚数を考慮する。上段のワイヤロープには補助金網が設置されており，2 枚のネットを支持しているため，下段のワイヤロープより大きな荷重が作用することとなるため，補助金網設置に伴う荷重の分担を考慮する。

電中研報告書によると，補助金網を設置している上段のワイヤロープには，補助金網を設置していないワイヤロープに比べ，1.5 倍の張力が発生していることが確認されている。このことから，上段のワイヤロープは，下段のワイヤロープに比べ，補助金網の影響により 1.5 倍の張力が発生しているものとし，その影響を考慮する。補助金網を支持しているワイヤロープに発生する張力の最大値T_1’は，

$$T_1' = \frac{T'}{2}\cdot\left(\frac{1.5}{1.5+1}\right) = \frac{F_a'}{4\cdot\sin\theta}\cdot\left(\frac{1.5}{1.5+1}\right)$$

ネットに対して設計飛来物がオフセット衝突した場合においても，各ワイヤロープに対して均等に張力が発生することが衝突試験により確認されており，算出結果は設計飛来物の衝突位置によらず適用可能である。

(c)　接続治具（支持部）の破断評価

イ．　ターンバックル

ターンバックルは，ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても，許容値を満足することを確認することから，引張荷重の最大値として，ワイヤロープに発生する張力T_1’により評価を実施する。

ロ．　シャックル

シャックルは，ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても，許容値を満足することを確認することから，引張荷重の最大値として，ワイヤロープに発生する張力 T_1’により評価を実施する。

(d)　接続冶具（固定部）の破断評価

イ．　隅角部固定ボルト

ワイヤロープは，設置するネット枚数に応じて設置するため，隅角部固定ボルトにかかる応力は，ネット枚数ごとに評価する。

ここで，ワイヤロープはたわみにより鋼管に対してθ_{w1}，θ_{w2}のたわみ角を有することから，隅角部へ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。鉛直方向成分は，水平方向成分のように溶接部に対する有意な荷重ではないことから，面内荷重で評価する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を図 6-2 に示す。

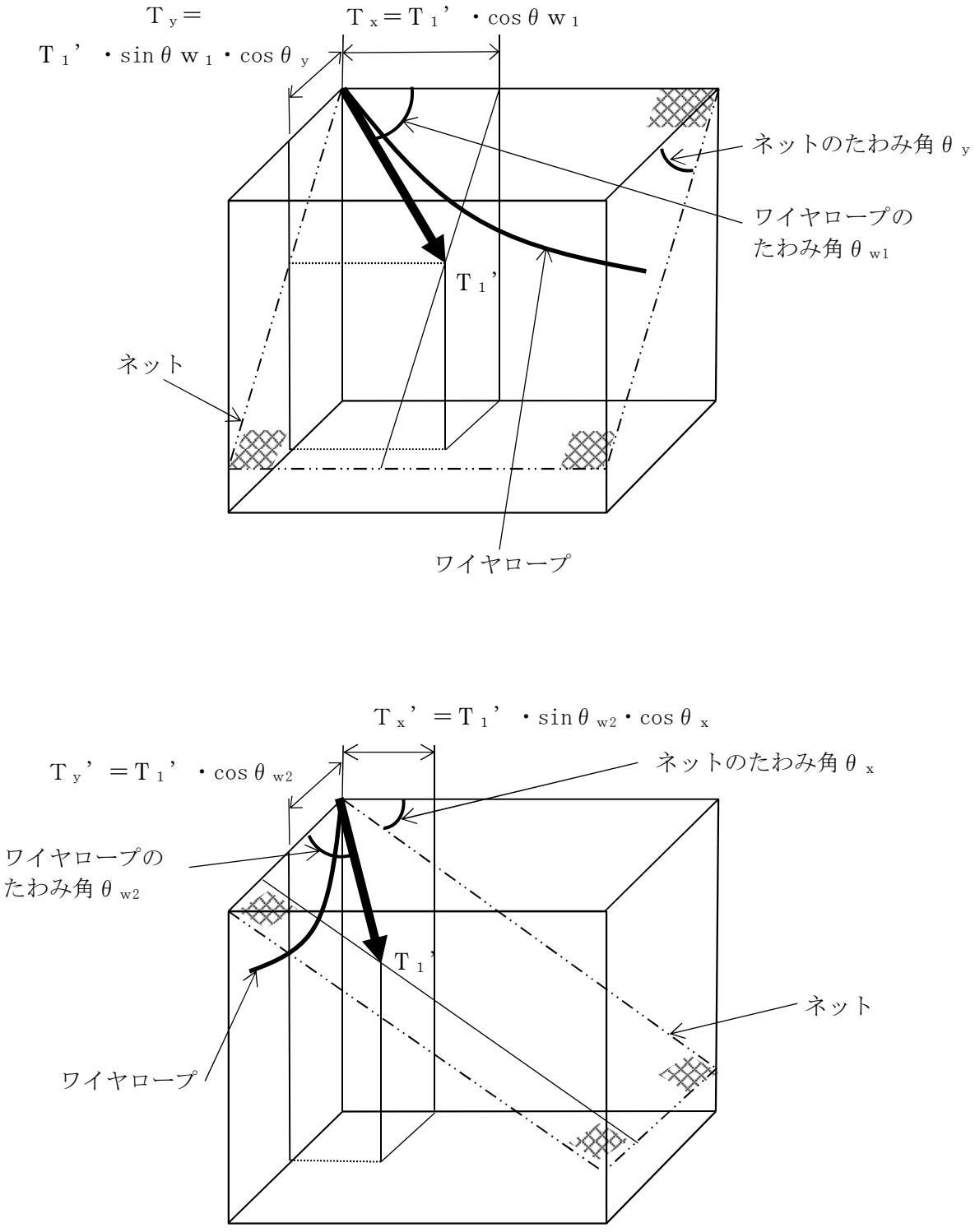


図 6-2　ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

鋼管の荷重状態を図 6-3，隅角部固定ボルトの荷重状態を図 6-4 に示す。

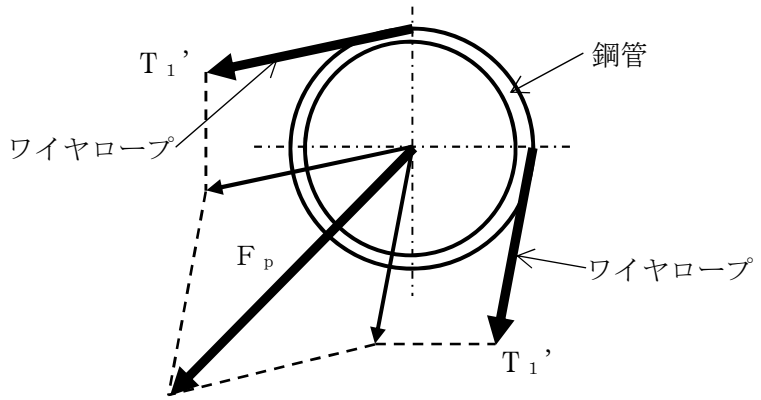


図 6-3　鋼管の荷重状態

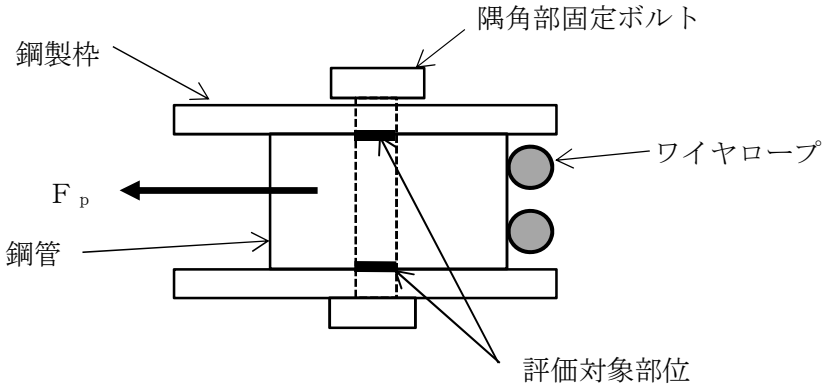


図 6-4　隅角部固定ボルトの荷重状態

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力の釣合いの関係から以下の評価式を用いて算出する。

ネット展開方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重，T_x及びT_yは，以下のとおりとなる。

$$T_x = T_1' \cos\theta_{w1}$$

$$T_y = T_1' \cdot \sin\theta_{w1} \cdot \cos\theta_y$$

ただし，θ_y，θ_{w1}は以下の式で求められる。

$$\theta_y = \tan^{-1}\left(\frac{2 \cdot \delta}{L_y}\right)$$

$$\theta_{w1}=\cos^{-1}\frac{1}{\sqrt{1+16\left(\frac{\delta_{wx}}{L_x}\right)^2}}$$

また，ネット展開直角方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重，T_x’及びT_y’は以下の関係となる。

$$T_x'=T_1'\cdot\sin\theta_{w2}\cdot\cos\theta_x$$

$$T_y'=T_1'\cdot\cos\theta_{w2}$$

ただし，θ_x，θ_{w2}は以下の式で求められる。

$$\theta_x=\tan^{-1}\left(\frac{2\cdot\delta}{L_x}\right)$$

$$\theta_{w2}=\cos^{-1}\frac{1}{\sqrt{1+16\left(\frac{\delta_{wy}}{L_y}\right)^2}}$$

隅角部へ作用するＸ方向及びＹ方向への合成荷重は

$$F_x=T_x+T_x'$$
$$F_y=T_y+T_y'$$

より求まる。

1本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は

$$F_{p1}=\sqrt{F_x^2+F_y^2}$$

より求まる。

2本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は

$$F_{p2}=F_{p1}/\ 1.5$$

より求まる。

ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重F_pは

$$F_p=F_{p1}+F_{p2}$$

以上より，隅角部固定ボルトに発生するせん断応力τ_sは，

$$\tau_s=\frac{F_p}{2\cdot n_2\cdot A_b}$$

ロ．　取付けプレート

設計飛来物が防護ネットに衝突する場合にネット取付部への衝撃荷重T_1’は，ワ

イヤロープの引張荷重として作用し，すみ肉溶接部にはせん断応力が発生するため，せん断応力評価を実施する。取付けプレートの荷重状態を図 6-5 に示す。

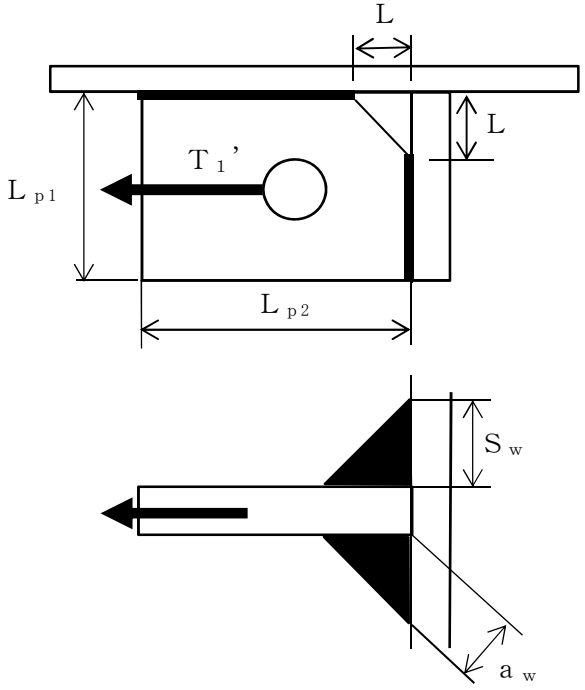


図 6-5　取付けプレートの荷重状態

溶接部の有効脚長Ｌ $_{pw}$は，

$$L_{pw}=L_{p1}-L-2\cdot S_w+L_{p2}-L-2\cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力τ $_w$は，

$$\tau_w=\frac{T_1'}{2\cdot a_w\cdot L_{pw}}$$

ここで溶接部ののど厚ａ $_w$は以下の式で求められる。

$$a_w=\frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

d.　たわみ評価

(a)　ネットのたわみ量の算出

ネットの変位量と吸収エネルギとの関係は，「5.1.2(2)　吸収エネルギ評価」の(5.2) 式のとおり，以下の式にて導出される。

$$E_i=2\cdot K_x\cdot \delta_i^2-K_x\cdot L_x\left(\sqrt{4\cdot \delta_i^2+L_x^2}-L_x\right)$$

ここで，Ｋ $_x$及びＬ $_x$は定数であるため，

$$\sum_{i=1}^{N_y}E_i=E_t$$

とすることで，ネットへの付加エネルギに応じたたわみ量δを算出することができる。

(b)　ワイヤロープのたわみ量を含めた防護ネットのたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は，ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし，「6.1(3)c.　ワイヤロープ，ターンバックル及びシャックルの破断評価」に示す方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果（荷重－ひずみ曲線）から変形後のワイヤロープ長さを求めることで導出する。

また，ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

以下に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量 ε が算出される。よって，変形によるワイヤロープの伸び量 δ' は，以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

ワイヤロープの変形図を図 6-6 に示す。設計飛来物の衝突によりワイヤロープは放物線状に変形すると，変形後のワイヤロープ長さＳは放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

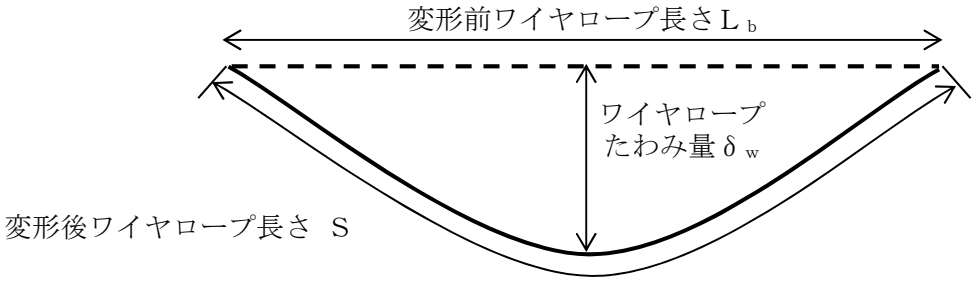


図 6-6　ワイヤロープの変形図

$$S = \frac{1}{2}\sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2} + \frac{L_b^2}{8 \cdot \delta_w} \ln\left(\frac{4 \cdot \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2}}{L_b}\right)$$

また，ワイヤロープはネットのアスペクト比により，変形形状が異なる。ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）を図 6-7，ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）を図 6-8 に示す。

「展開方向寸法＞展開直角方向寸法」の場合は，飛来物の衝突によるネット変形がネット全体に及ぶため，図 6-7 のとおり 4 辺のワイヤロープが変形する形状となり，「展開方向寸法＜展開直角方向寸法」の場合は，ネット変形がネット展開方向長さの範囲に制限されるため，図 6-8 のとおりネット展開直角方向のワイヤロープのみが変形する形状となる。

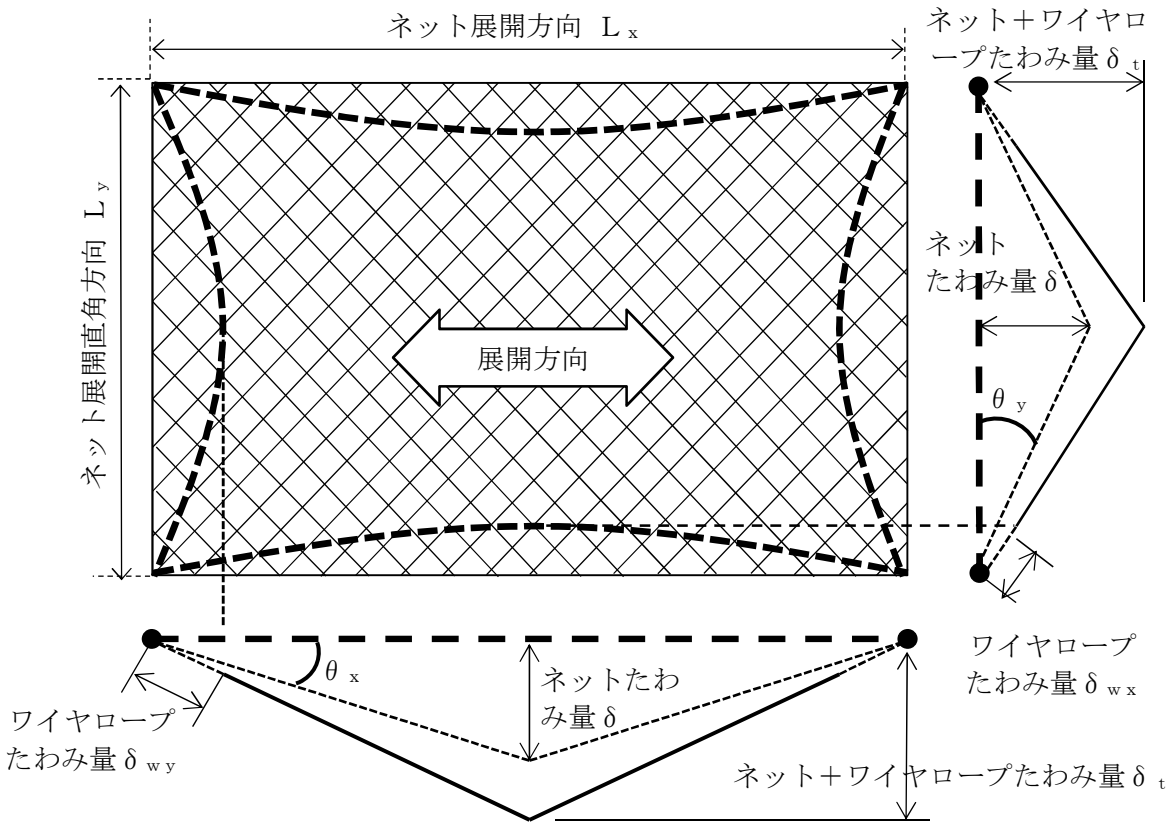


図 6-7　ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）

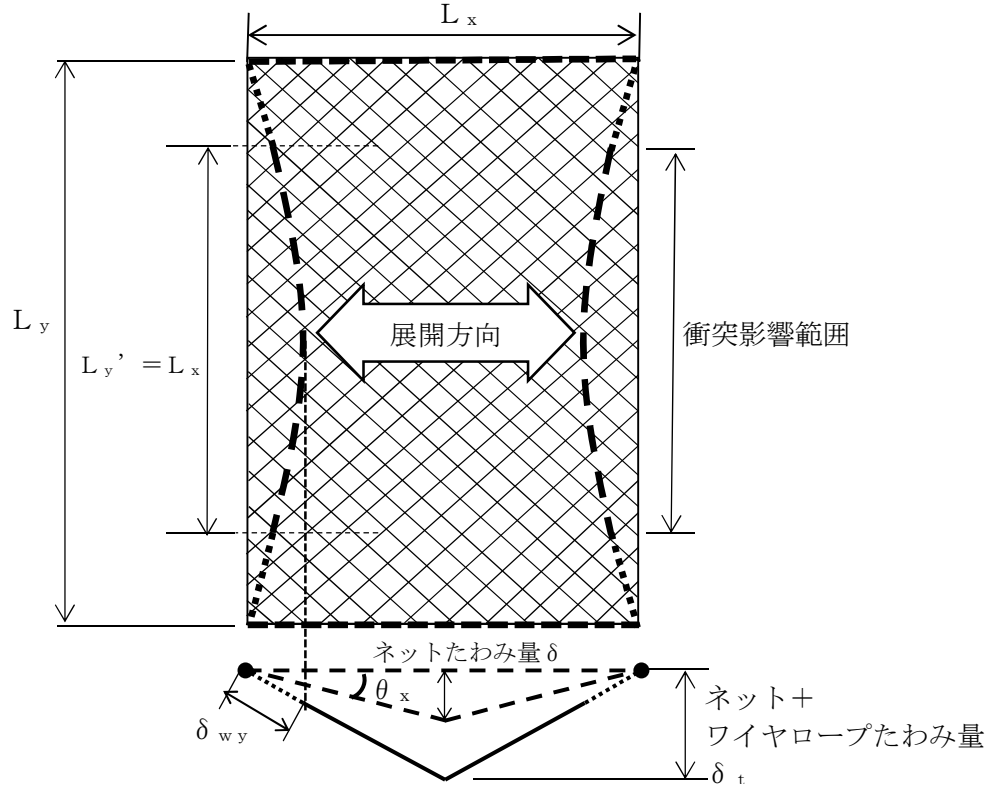


図 6-8　ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）

よって，ネットのアスペクト比に応じ，ワイヤロープたわみ量を含めた防護ネットのたわみ量の算出を行う。

「展開方向寸法≧展開直角方向寸法」の場合，図 6-7 のとおり，ネット展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さをS_x，ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さをS_yとすると，S_x及びS_yはそれぞれδ_{wx}，δ_{wy}の関数であり，ワイヤロープ伸び量δ'は，

$$\delta' = \{S_x(\delta_{wx}) - L_x\} + \{S_y(\delta_{wy}) - L_y\}$$

と表される。

また，ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と，ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから，

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2\cos\theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_y}{2\cos\theta_y}\right)^2 - \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}$$

と表され，ワイヤロープたわみ量δ_{wx}及びδ_{wy}を導出することができ，同時にワイヤロープたわみ量を含めた防護ネットのたわみ量δ_tが算出される。

「展開直角方向寸法＞展開方向寸法」の場合，図 6-8 より，ワイヤロープ伸び量δ'がL_yの範囲に集約されて変形する。「展開直角方向寸法＞展開方向寸法」の場合における，ワイヤロープの変形図を図 6-9 に示す。

ワイヤロープは，飛来物の影響範囲（L_y'）にのみ分布荷重が発生するため放物線状となり，その両端部は放物線状に変形したワイヤロープからの引張力のみが作用するため，両端部の接線がそのままネット端部まで延長される形となる。

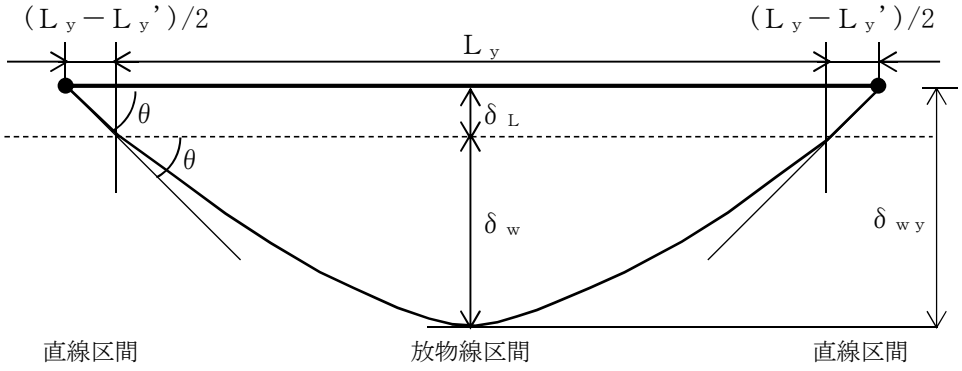


図 6-9　「展開直角方向寸法＞展開方向寸法」の場合における
ワイヤロープの変形図

ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さをS_yとすると，S_yはδ_wの関数であり，

$$S_y = S_y(\delta_w)$$

と表される。

また，直線区間のワイヤロープの変形後の長さの合計L_sは，

$$L_s = \frac{L_y - L_y'}{\cos\theta}$$

と表される。

L_y（展開方向に直交する辺）の変形後のワイヤロープ長さS_tは，

$$S_t = L_y + \delta'$$

と算出されることから，

$$L_y + \delta' = S_y + L_s$$

$$= S_y(\delta_w) + \frac{L_y - L_y'}{\cos\theta}$$

となり，L_y，L_y'，δ'，θは定数であることから，放物線区間のワイヤロープたわみ量δ_wを導出することができる。

また，直線区間のワイヤロープのたわみ量δ_Lは，

$$\delta_L = \frac{L_y - L_y'}{2}\tan\theta$$

と算出されることから，放物線区間，直線区間を含むワイヤロープ全体のたわみ量が，

$$\delta_{wy} = \delta_w + \delta_L$$

と算出される。

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2\cos\theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2}$$

より，ワイヤロープたわみ量を含めた防護ネットのたわみ量δ_tが算出される。

7. 適用規格

添付書類「Ⅴ-1-1-2-3-1　竜巻への配慮に関する基本方針」においては，竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち，防護対策施設の強度設計に用いる規格，基準等を以下に示す。

- 「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（（社）日本機械学会
- 「原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会
- 「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987」（社）日本電気協会
- 「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（社）日本電気協会
- 日本工業規格(ＪＩＳ)
- 「建築物荷重指針・同解説」（社）日本建築学会(2004 改定)
- 「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（社）日本建築学会(2005 改定)
- 「鋼構造接合部設計指針」（社）日本建築学会(2012 改定)
- 「小規模吊橋指針・同解説」（（社）日本道路協会　2008)
- Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8（ＮＥＩ０７－１３）
- 「伝熱工学資料（改訂第 4 版）」（（社）日本機械学会　1986)

Ⅴ-3-別添 1-2-1　防護対策施設の強度計算書

目次

Ⅴ-3-別添 1-2-1-1　防護ネットの強度計算書
Ⅴ-3-別添 1-2-1-2　防護鋼板の強度計算書
Ⅴ-3-別添 1-2-1-3　架構の強度計算書

Ⅴ-3-別添 1-2-1-1　防護ネットの強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 16
2.3 評価方針 18
2.4 適用規格 20
3. 強度評価方法 21
3.1 記号の定義 21
3.2 評価対象部位 25
3.3 荷重及び荷重の組合せ 27
3.4 許容限界 31
3.5 評価方法 37
4. 評価条件 51
4.1 荷重条件 51
4.2 防護ネット仕様 51
5. 強度評価結果 56
5.1 吸収エネルギ評価 56
5.2 破断評価 58
5.3 たわみ評価 70

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり，防護対策施設である非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設，海水ポンプエリア防護対策施設，原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設及び使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の防護ネットが，外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物（以下「飛来物」という。）が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，主要な部材が破断せず，たわみを生じても飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう，飛来物のエネルギが防護ネットの限界吸収エネルギの値以下であること及び防護ネットを構成する部材が許容限界に至らないことを確認するものである。

2. 基本方針

添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」を踏まえ，防護ネットの「2.1 位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

防護ネットは，原子炉建屋（原子炉棟外壁及び付属棟屋上），海水ポンプ室周り及び使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁に設置する。

防護ネットの設置位置図を図 2-1 に，各設置位置におけるネットの割付展開図を図 2-2～図 2-8 に示す。

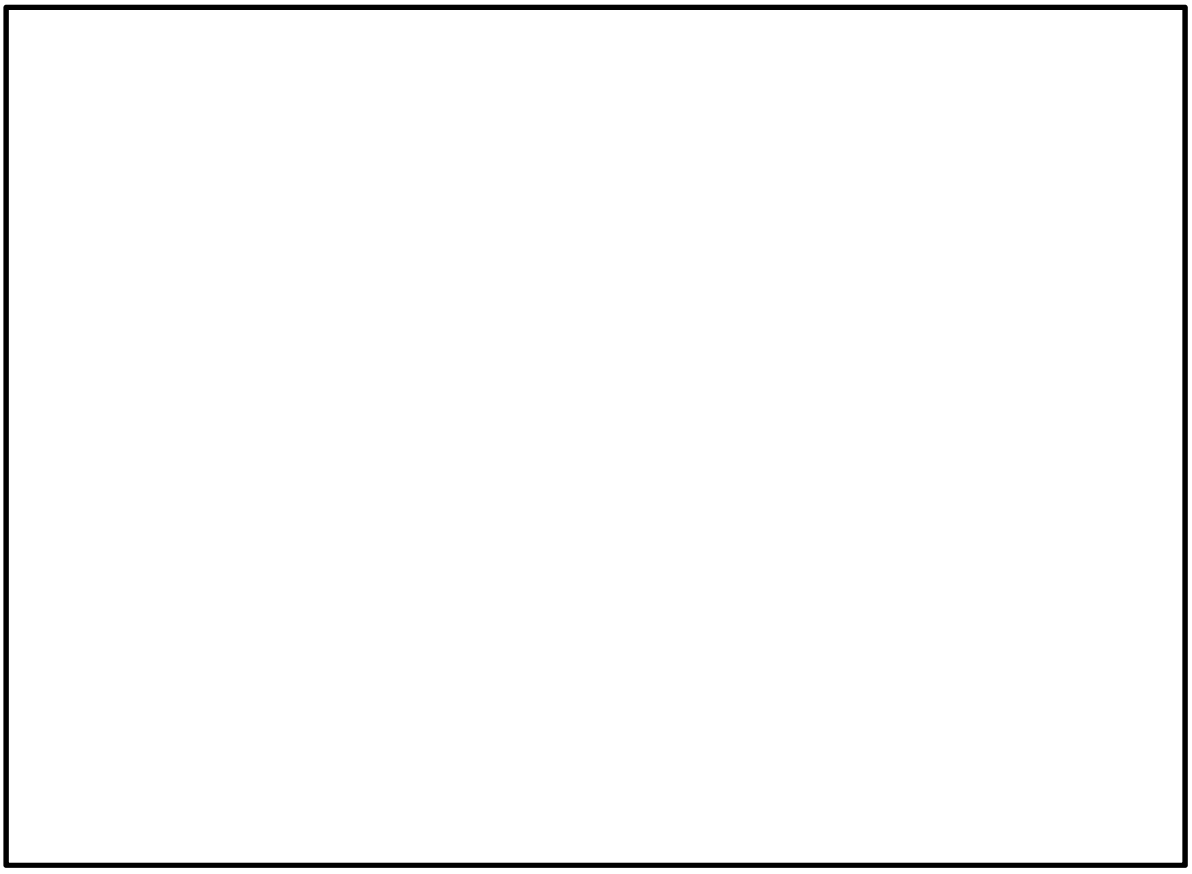
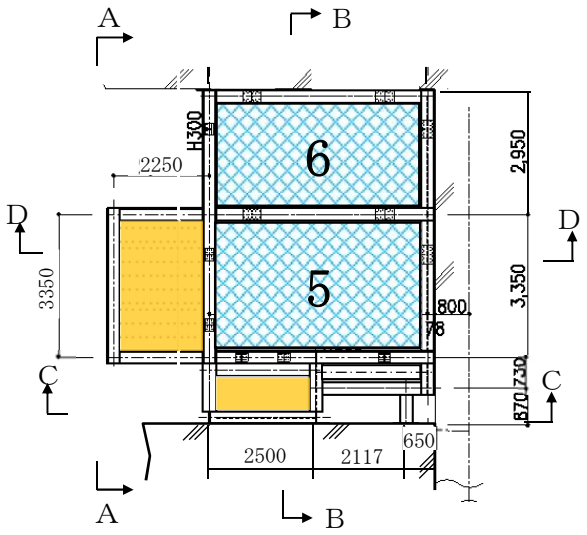
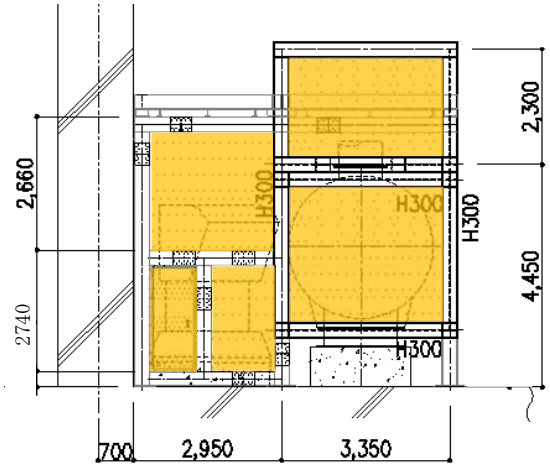


図 2-1　防護ネットの設置位置図

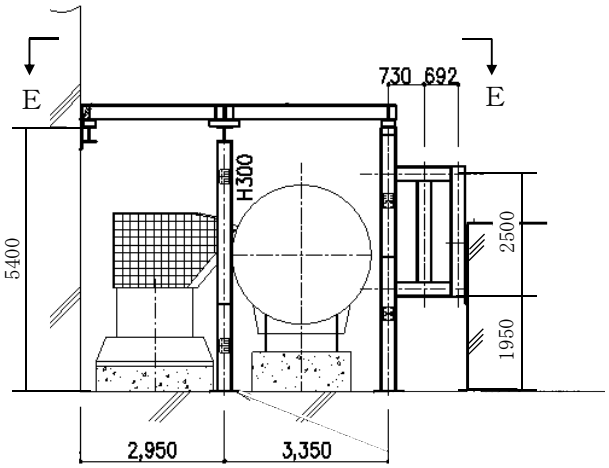
NT2 補② Ⅴ-3-別添 1-2-1-1 R11



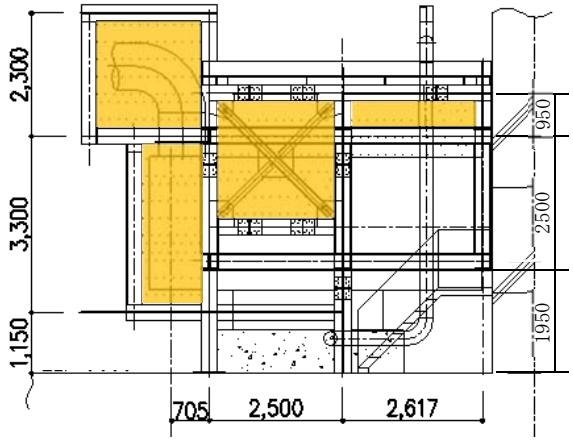
平面図（Ｅ－Ｅ矢視）



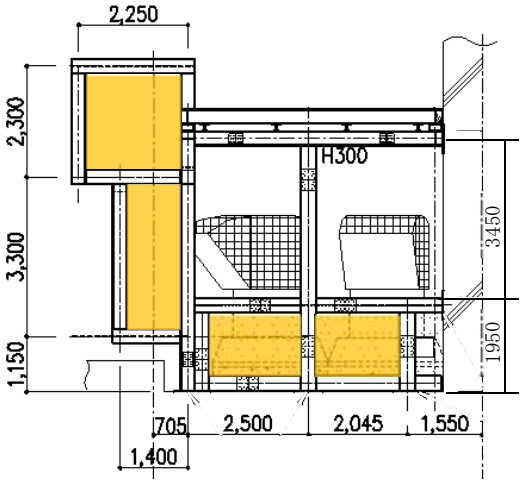
立面図（Ａ－Ａ矢視）



立面図（Ｂ－Ｂ矢視）



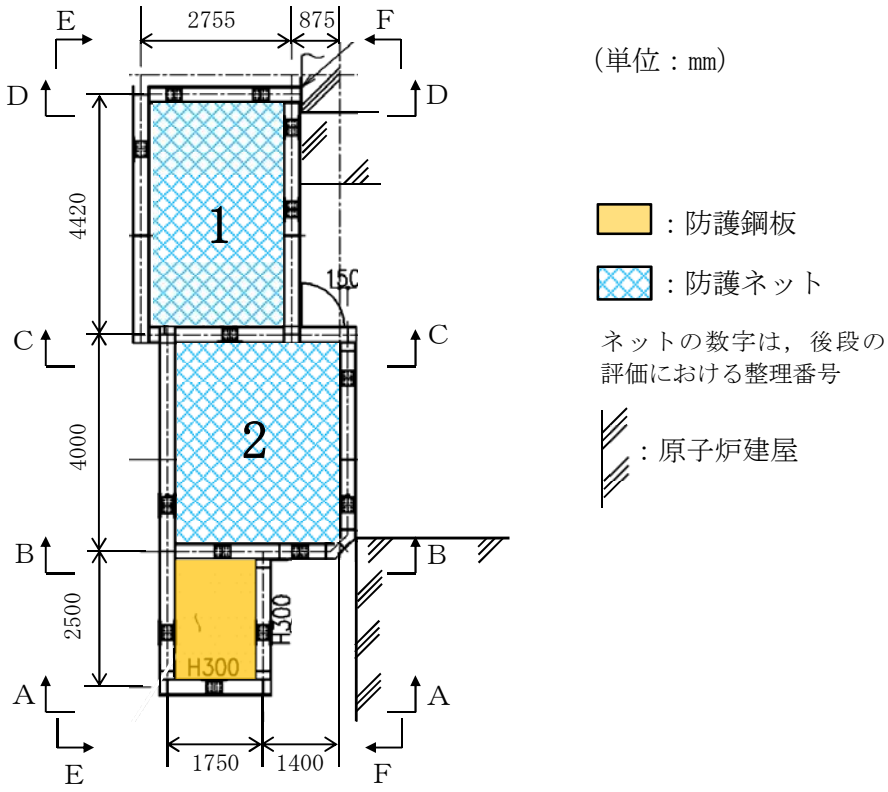
立面図（Ｃ－Ｃ矢視）



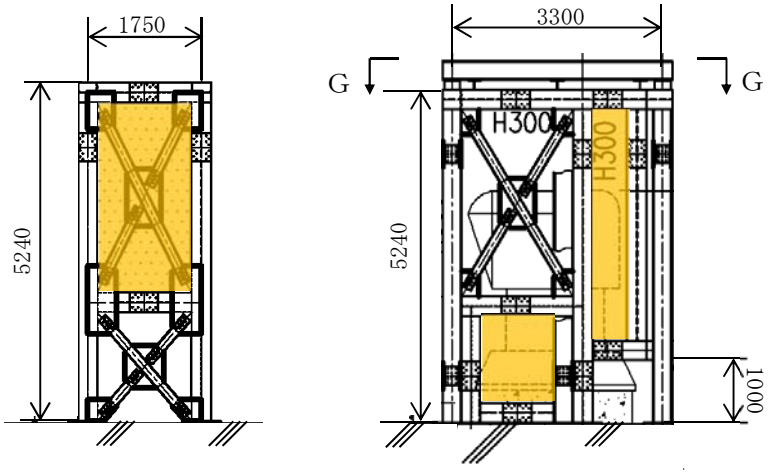
立面図（Ｄ－Ｄ矢視）

図 2-2　防護ネットの割付展開図

（２Ｃ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設）



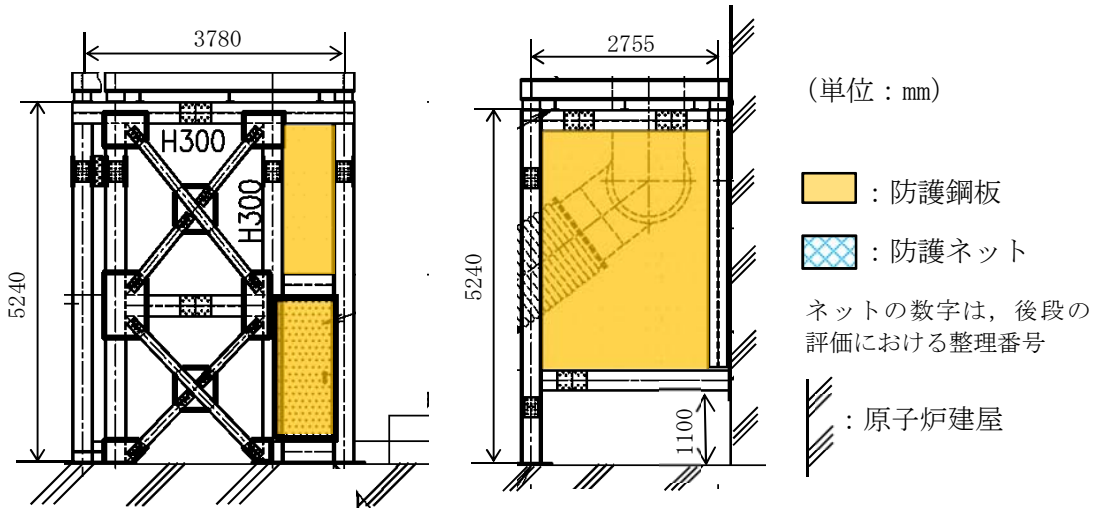
上面図（G－G矢視）



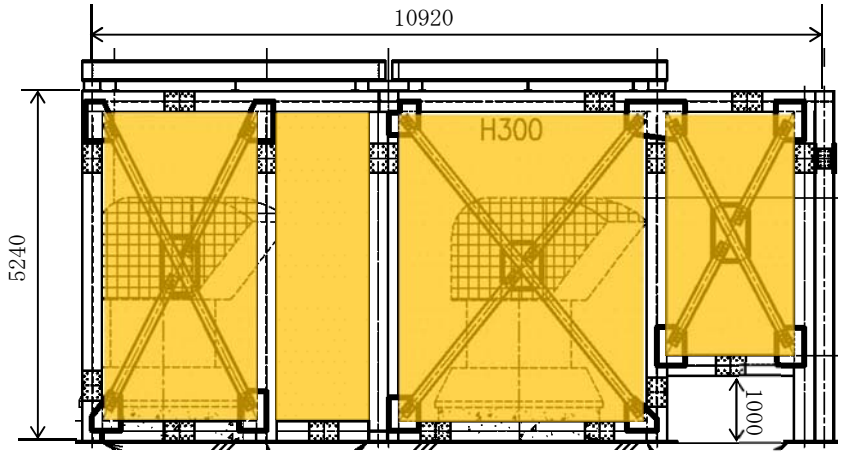
正面図（A－A矢視）　　正面図（B－B矢視）

図 2-3　防護ネットの割付展開図(1/2)

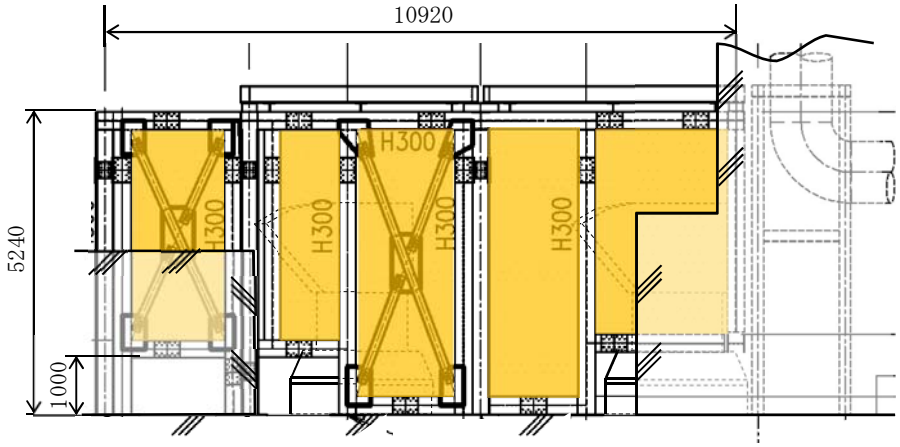
（２D非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設）



正面図（Ｃ－Ｃ矢視）　　正面図（Ｄ－Ｄ矢視）



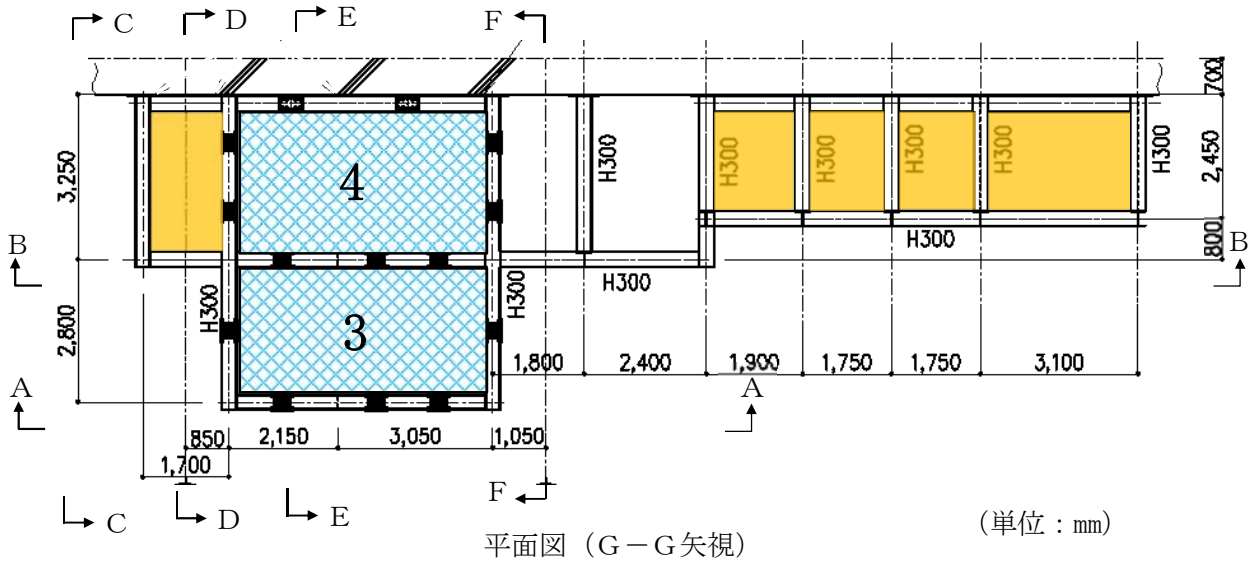
側面図（Ｅ－Ｅ矢視）



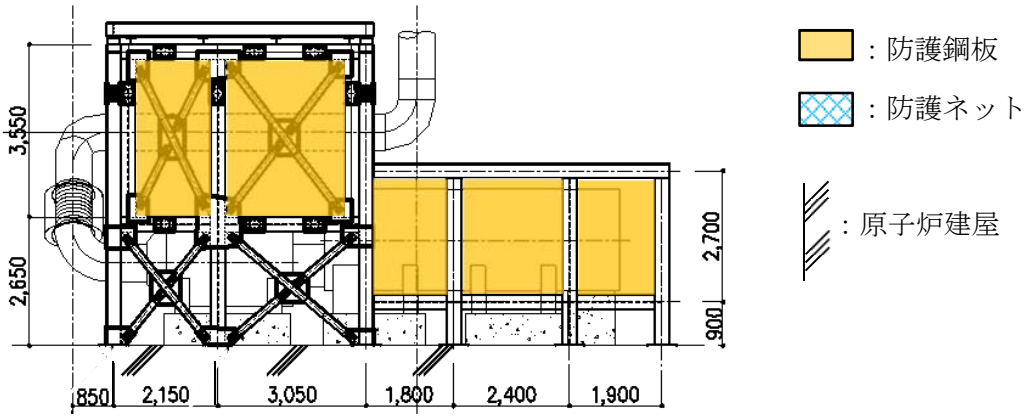
側面図（Ｆ－Ｆ矢視）

図 2-3　防護ネットの割付展開図(2/2)

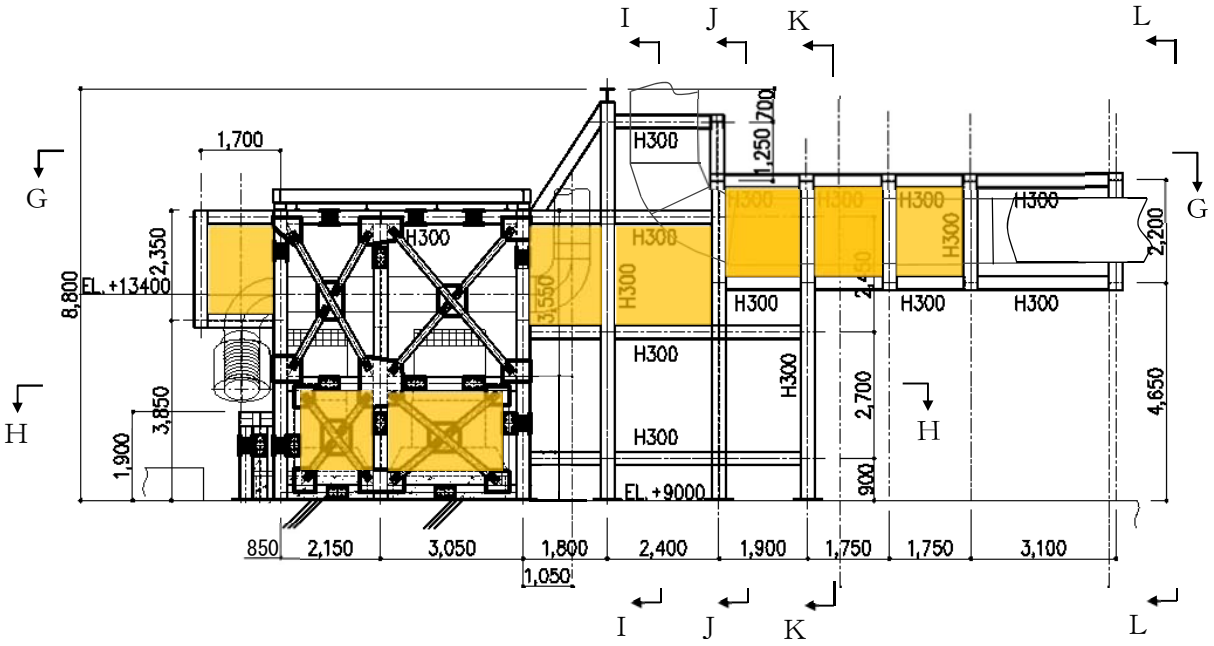
（２Ｄ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設）



平面図（G－G矢視）　（単位：mm）



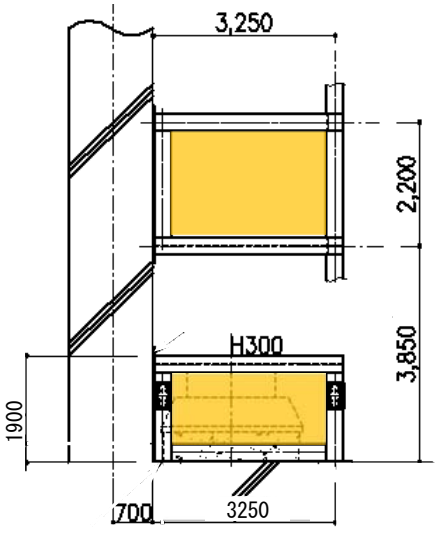
側面図（A－A矢視）



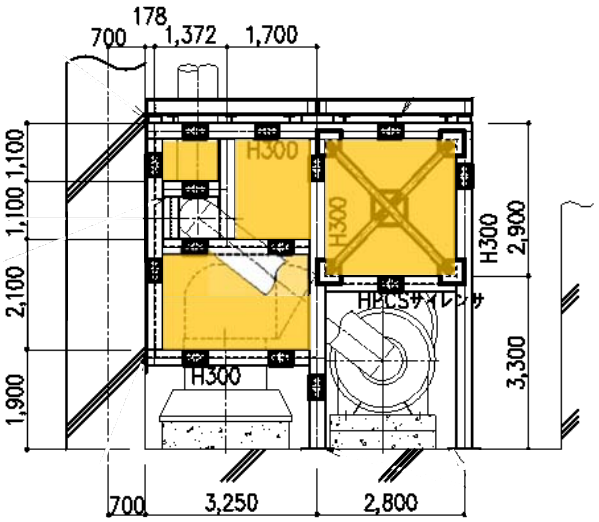
側面図（B－B矢視）

図 2-4　防護ネットの割付展開図(1/2)

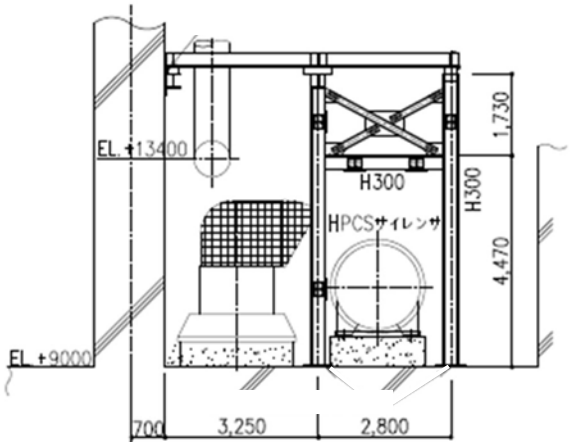
（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設）



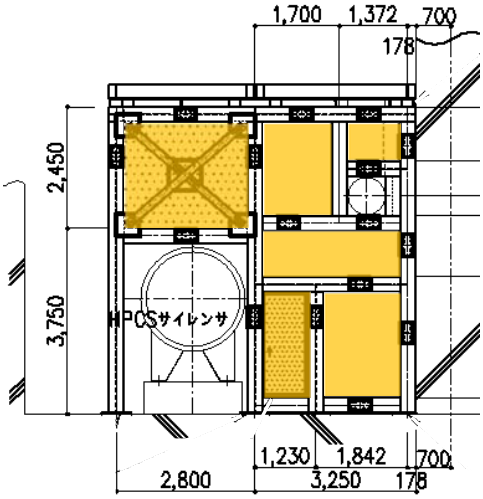
側面図（Ｃ－Ｃ矢視）



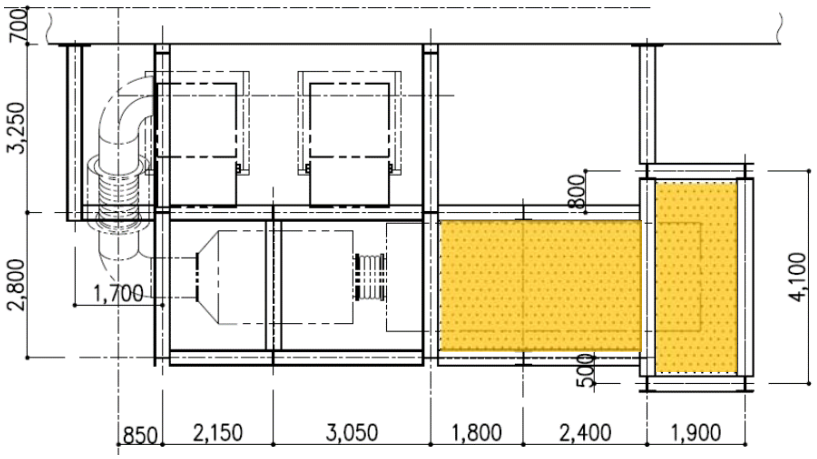
側面図（Ｄ－Ｄ矢視）



側面図（Ｅ－Ｅ矢視）



側面図（Ｆ－Ｆ矢視）



平面図（Ｈ－Ｈ矢視）

（単位：mm）

：防護鋼板

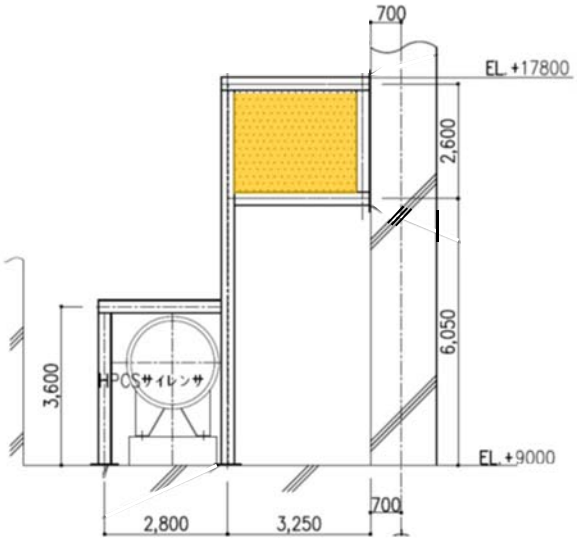
：防護ネット

：原子炉建屋

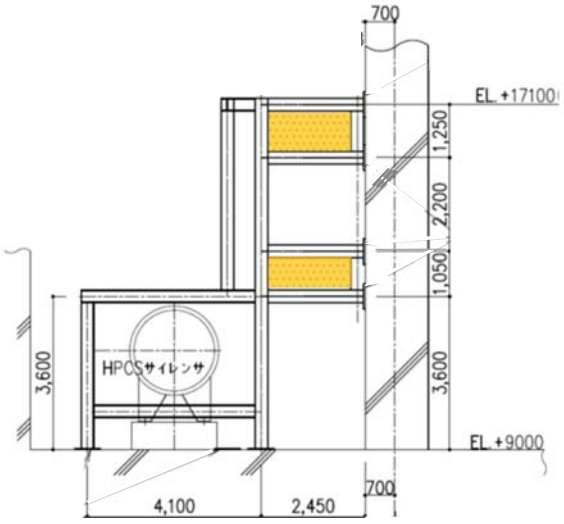
図 2-4　防護ネットの割付展開図(2/2)

（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設）

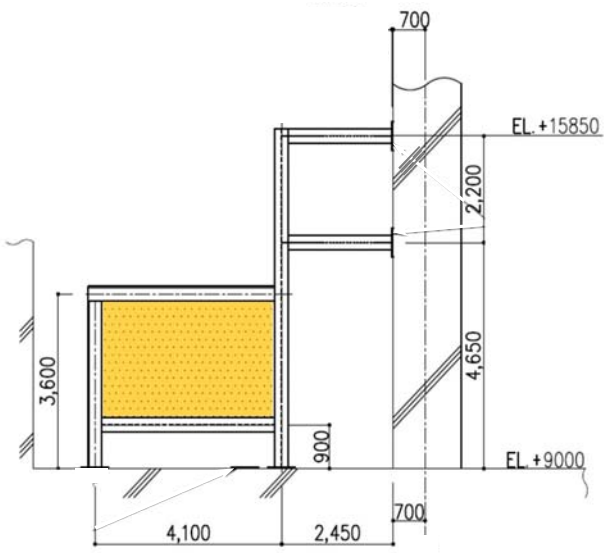
（単位：mm）　：防護鋼板　：防護ネット　：原子炉建屋



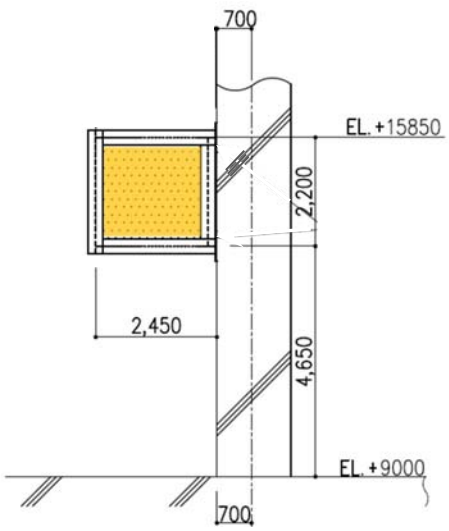
側面図（Ｉ－Ｉ矢視）



側面図（Ｊ－Ｊ矢視）



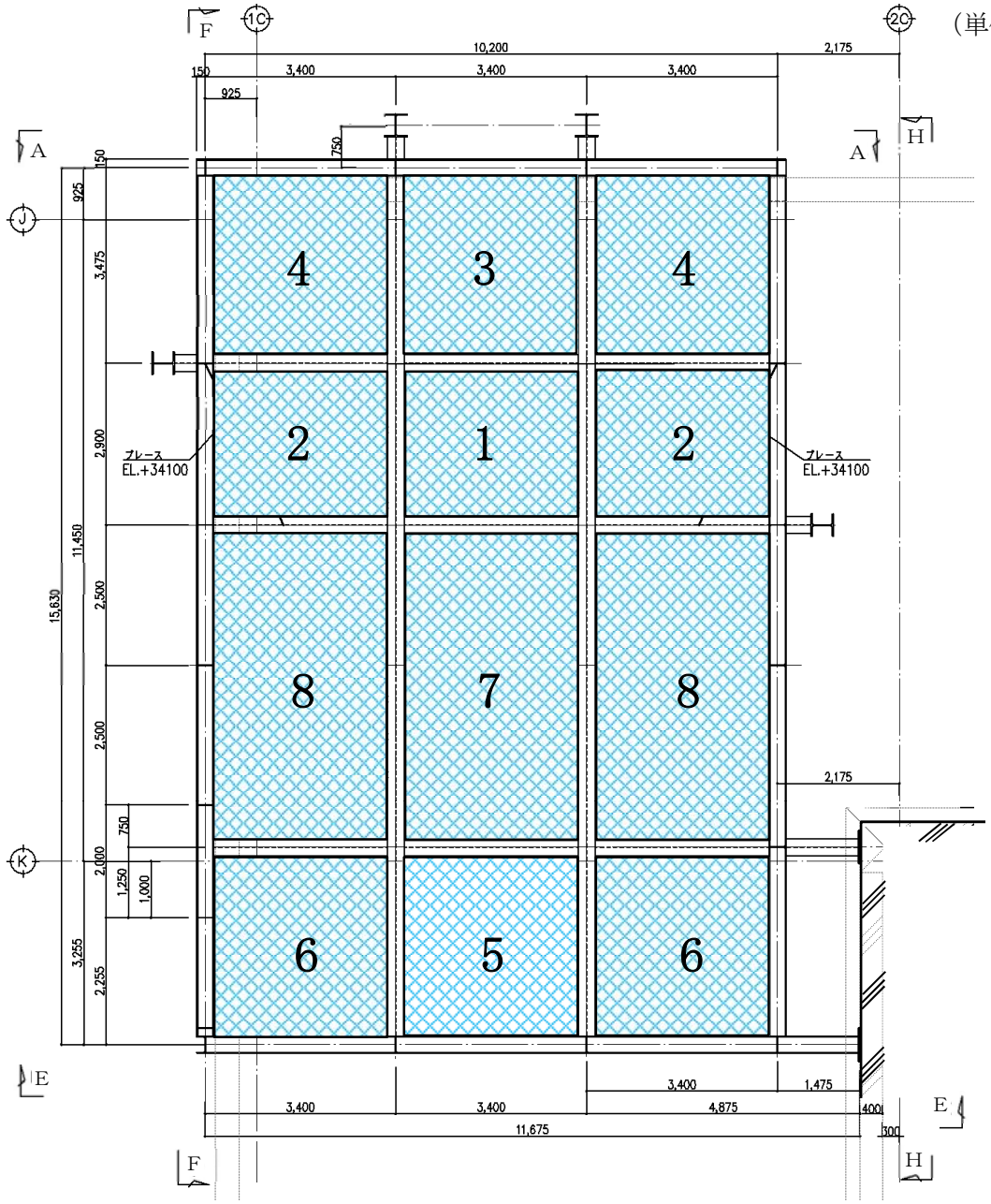
側面図（Ｋ－Ｋ矢視）



側面図（Ｌ－Ｌ矢視）

図 2-4　防護ネットの割付展開図(3/3)
（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設）

（単位：mm）



平面図

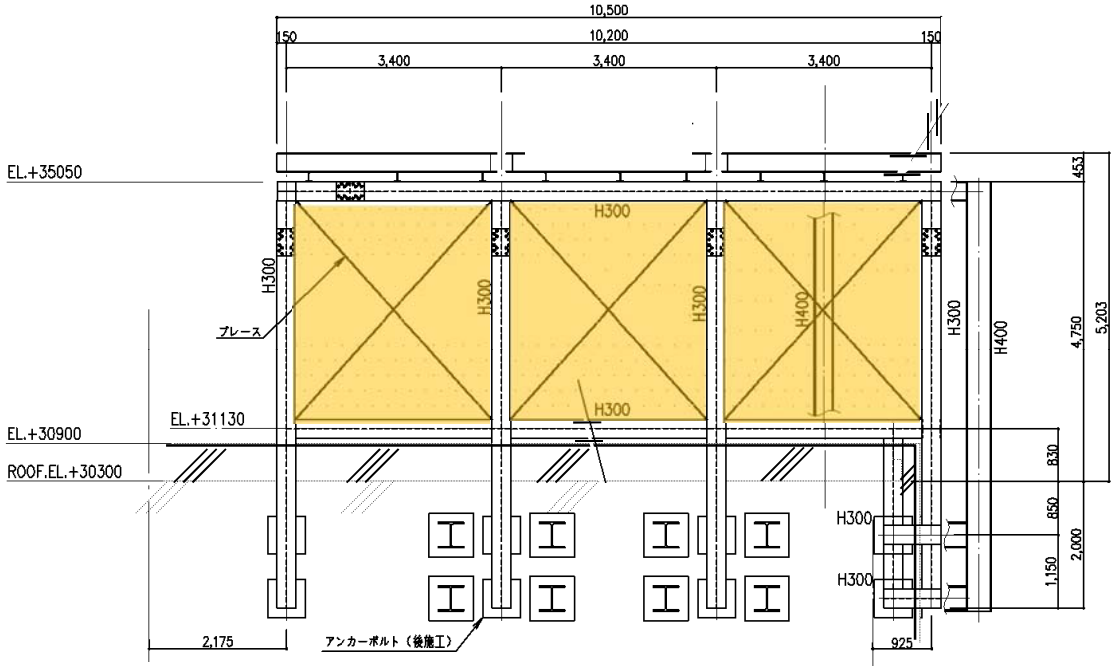
：防護鋼板

：防護ネット

ネットの数字は，後段の
評価における整理番号

：原子炉建屋

図 2-5　防護ネットの割付展開図(1/3)
(中央制御室換気系冷凍機防護対策施設)



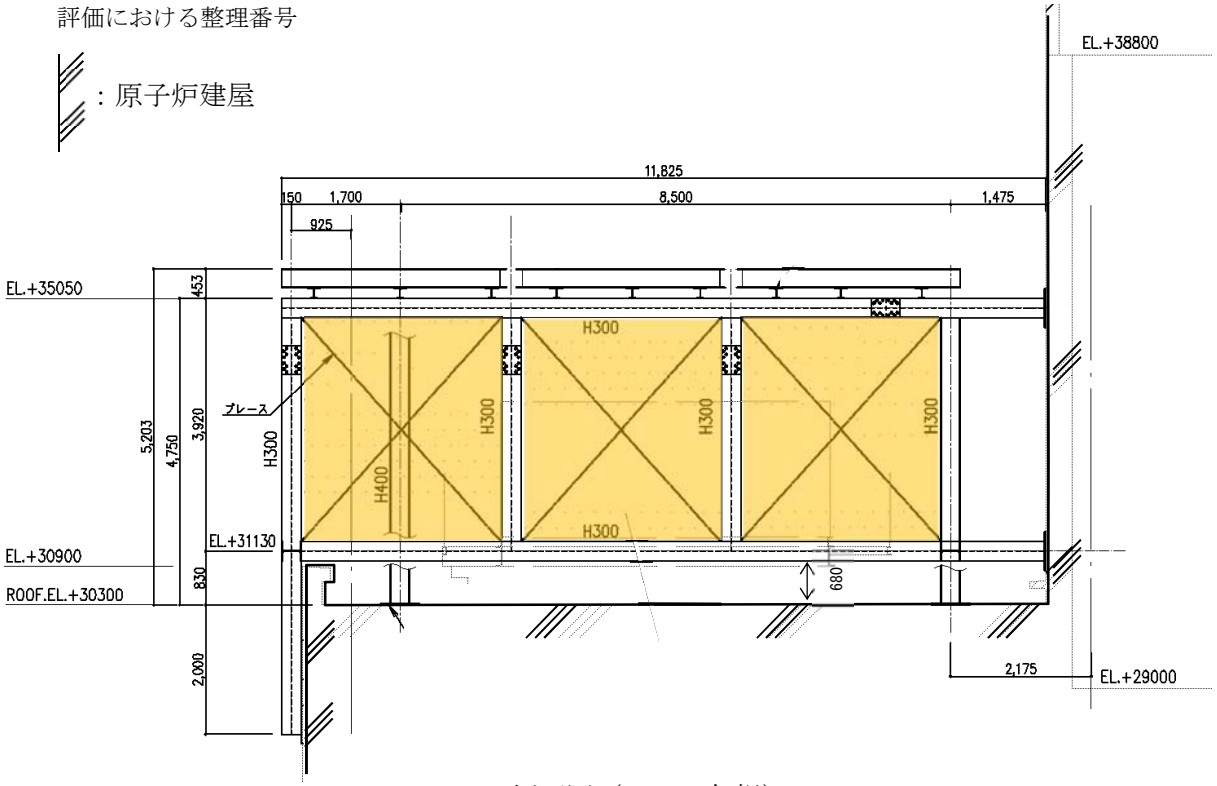
側面図（Ａ－Ａ矢視）

：防護鋼板

：防護ネット

ネットの数字は，後段の
評価における整理番号

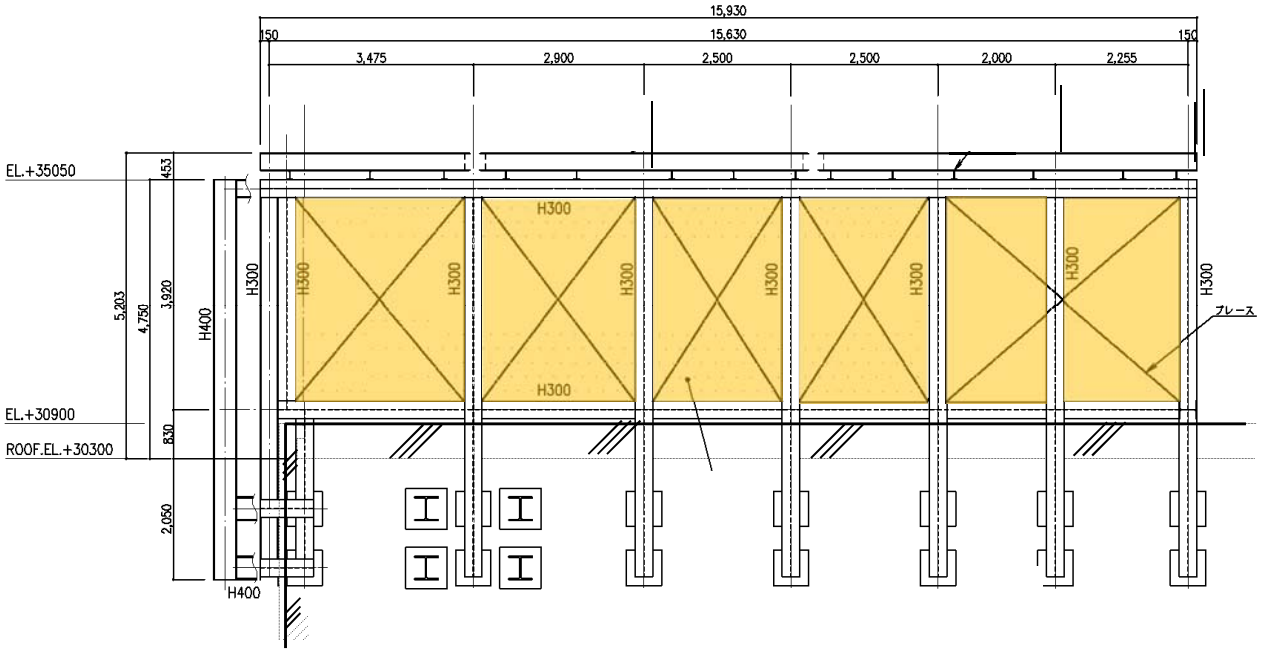
：原子炉建屋



側面図（Ｅ－Ｅ矢視）

図 2-5　防護ネットの割付展開図(2/3)
（中央制御室換気系冷凍機防護対策施設）

（単位：mm）



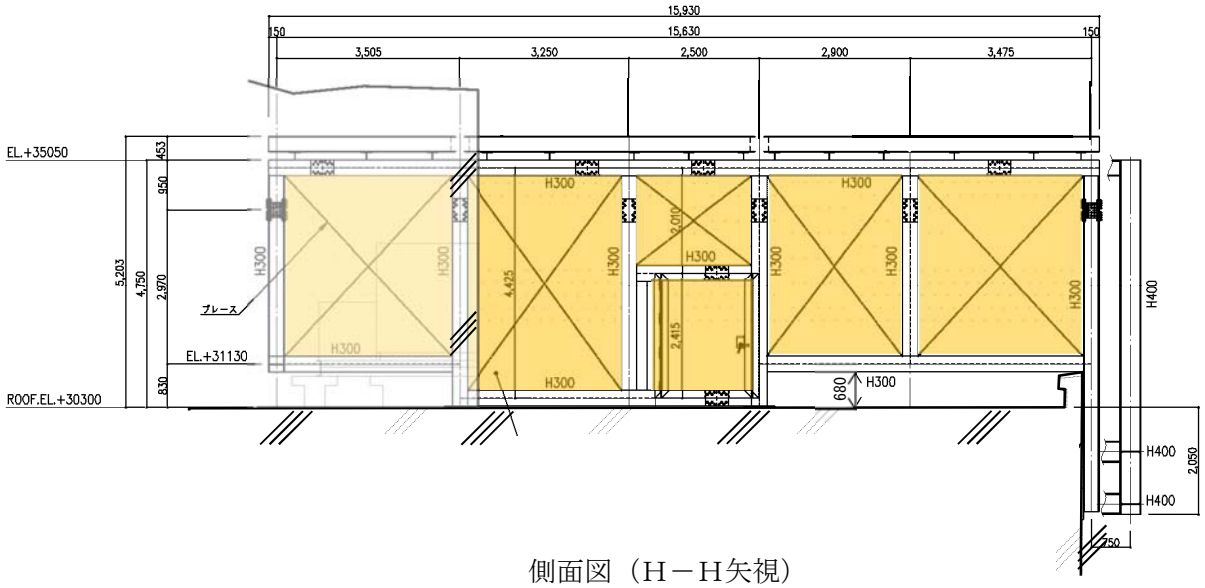
側面図（Ｆ－Ｆ矢視）

：防護鋼板

：防護ネット

ネットの数字は，後段の
評価における整理番号

：原子炉建屋



側面図（Ｈ－Ｈ矢視）

図 2-5　防護ネットの割付展開図(3/3)
（中央制御室換気系冷凍機防護対策施設）

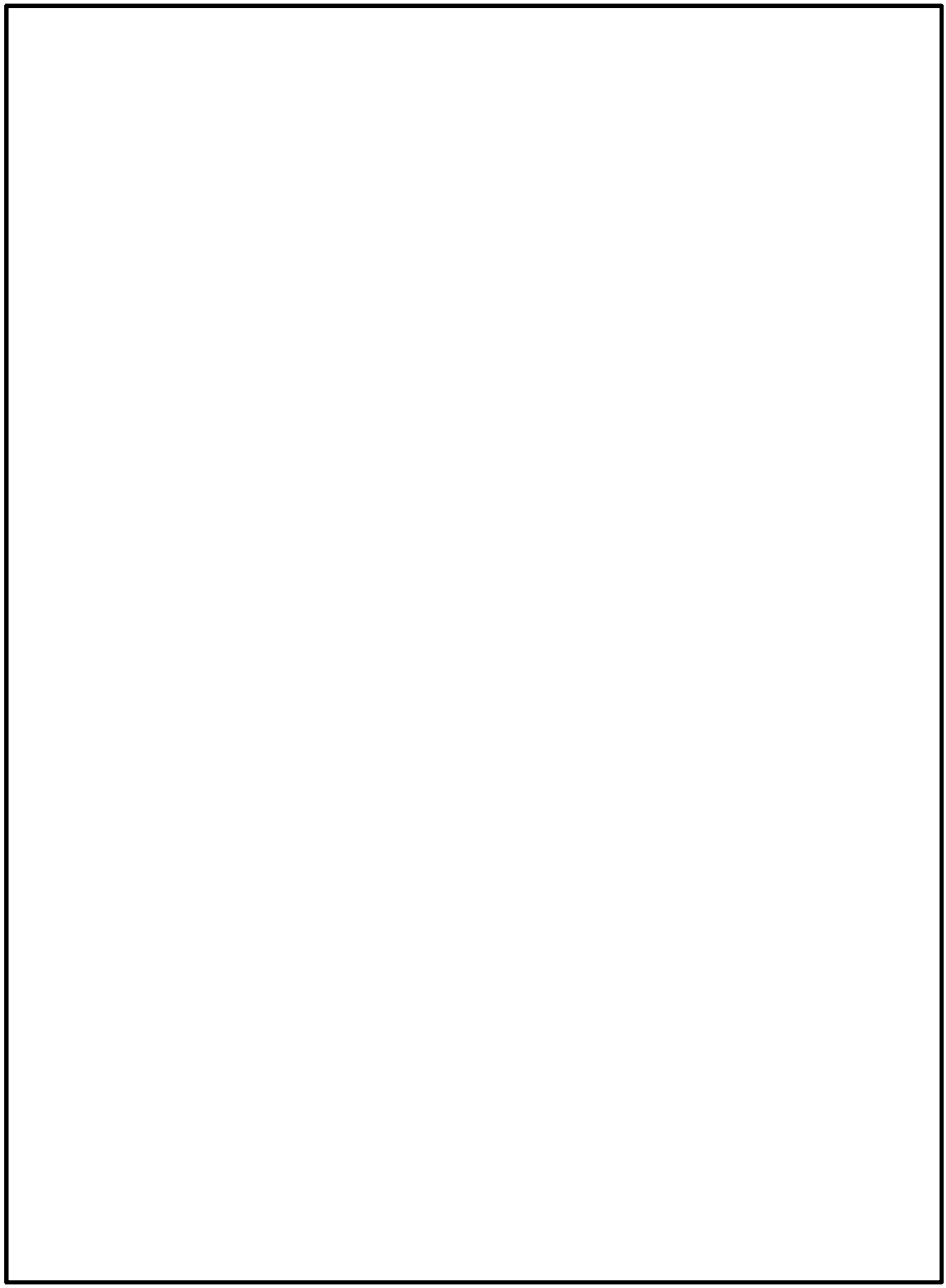
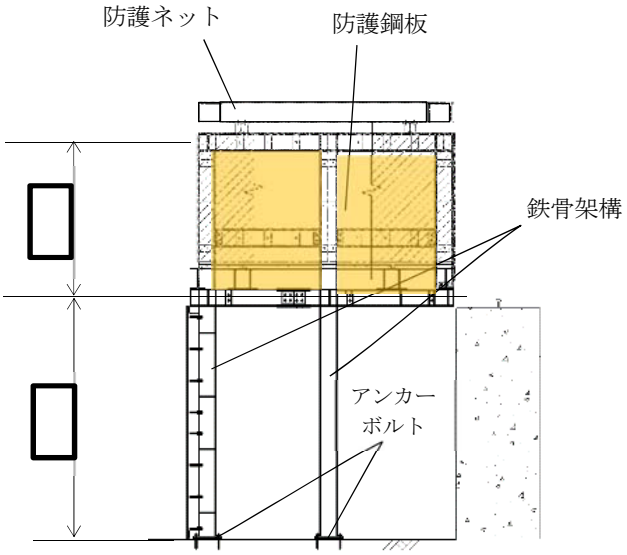
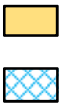


図 2-6　防護ネットの割付展開図(1/2)
(海水ポンプエリア防護対策施設配置図)

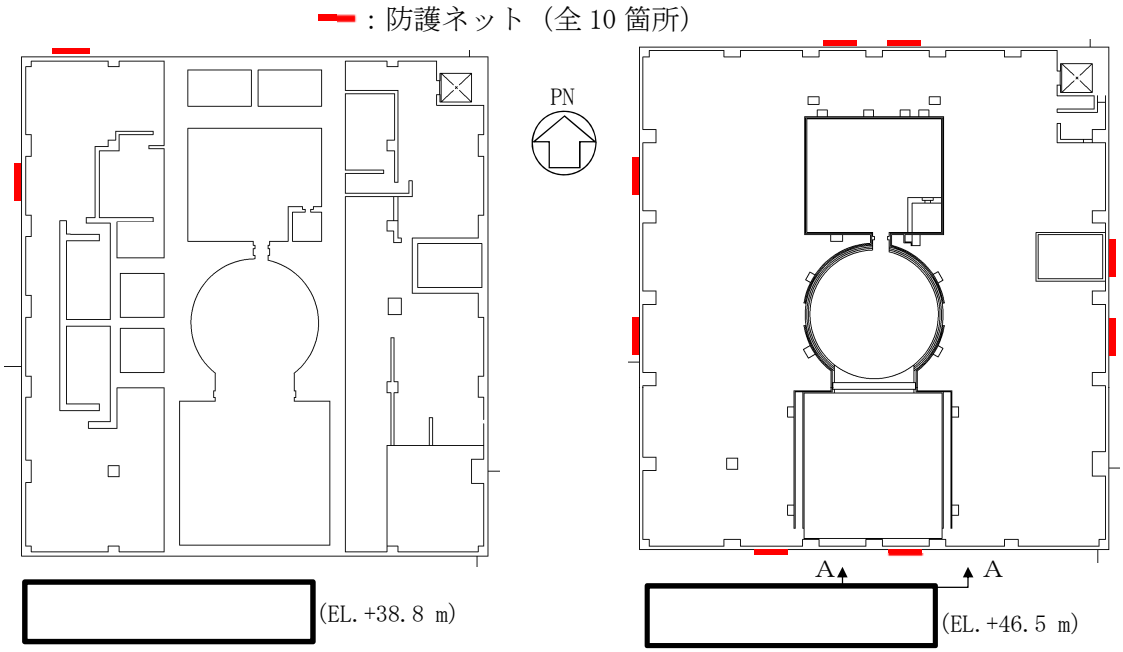


側面図（Ｃ－Ｃ視）No.9 のネットも同様

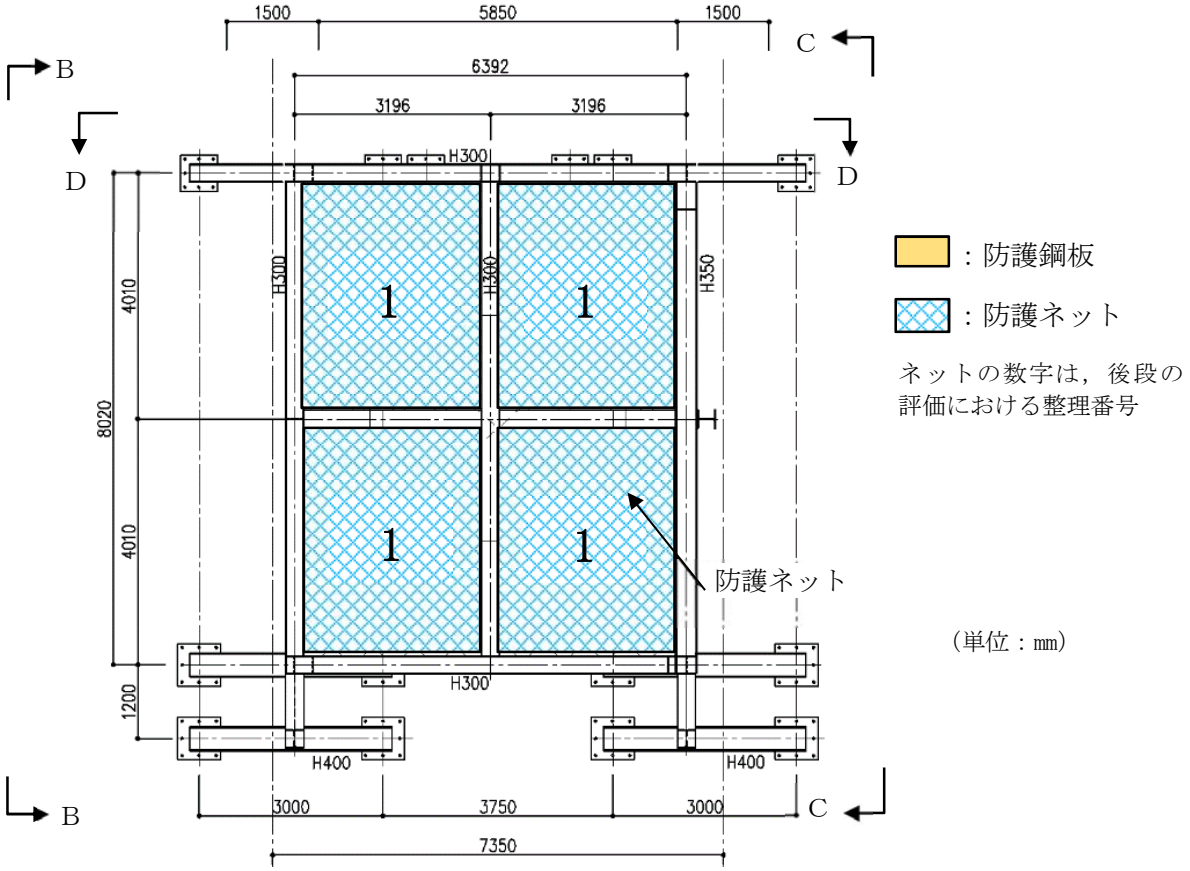


ネットの数字は，後段の
評価における整理番号

図 2-6　防護ネットの割付展開図(2/2)
(海水ポンプエリア防護対策施設配置図)

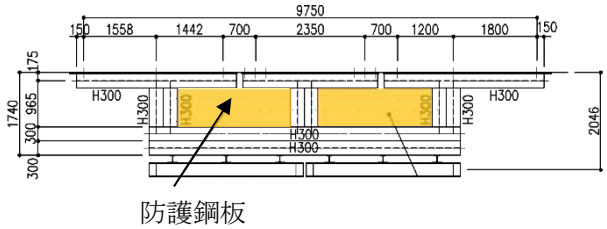


防護ネット配置（建屋平面図）

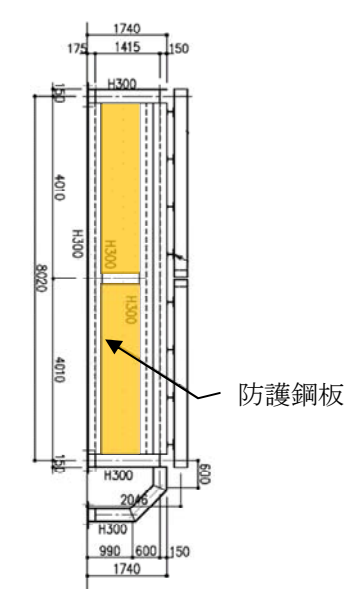


側面図（Ａ－Ａ矢視）

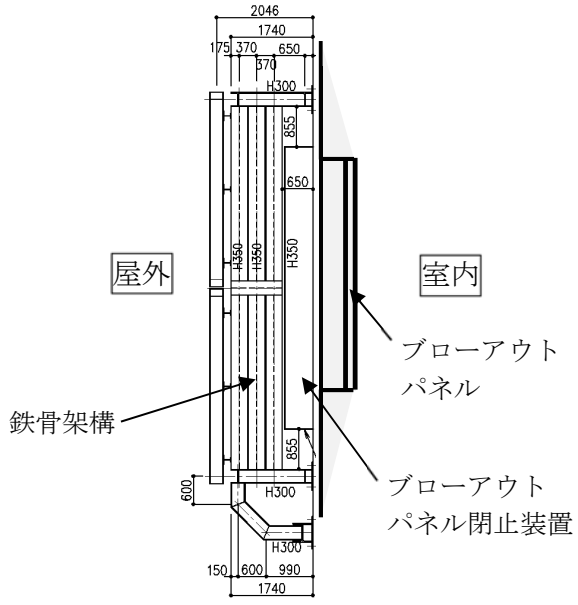
図 2-7　防護ネットの割付展開図(1/2)
（原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設）



平面図（D－D矢視）



側面図（B－B矢視）



側面図（C－C矢視）

：防護鋼板

：防護ネット

ネットの数字は，後段の
評価における整理番号

（単位：mm）

図 2-7　防護ネットの割付展開図(2/2)
（原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設）

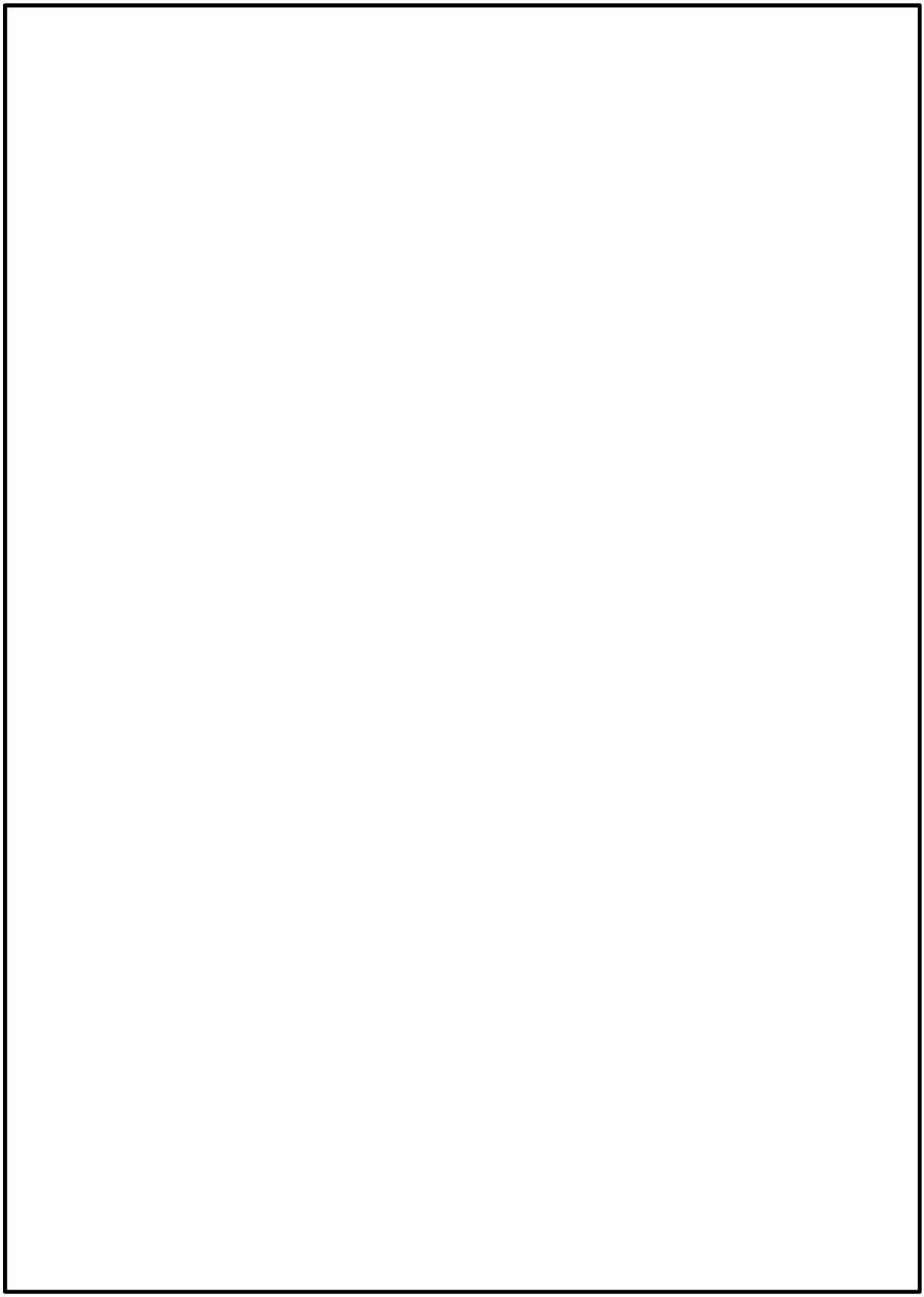


図 2-8　防護ネットの割付展開図
（使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設）

2.2　構造概要

防護ネットの構造は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「3.1 防護ネットの構造設計」に示す構造計画を踏まえて設定する。

防護ネットは，ネット，ワイヤロープ，接続冶具（支持部，固定部）及び鋼製枠から構成され，原子炉建屋及び海水ポンプ室周り及び使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁に設置する。防護ネットは，外部事象防護対象施設又は開口部周辺に設置した架構に接続ボルトを用いて取付けられ，架構は基礎若しくは建屋の床及び壁により支持される。

ネットは，四隅にワイヤロープを縫うように通したワイヤロープにより支持し，ワイヤロープは接続冶具（支持部）を介して，鋼製枠に設置した接続冶具（固定部）にて支持する構造とする。

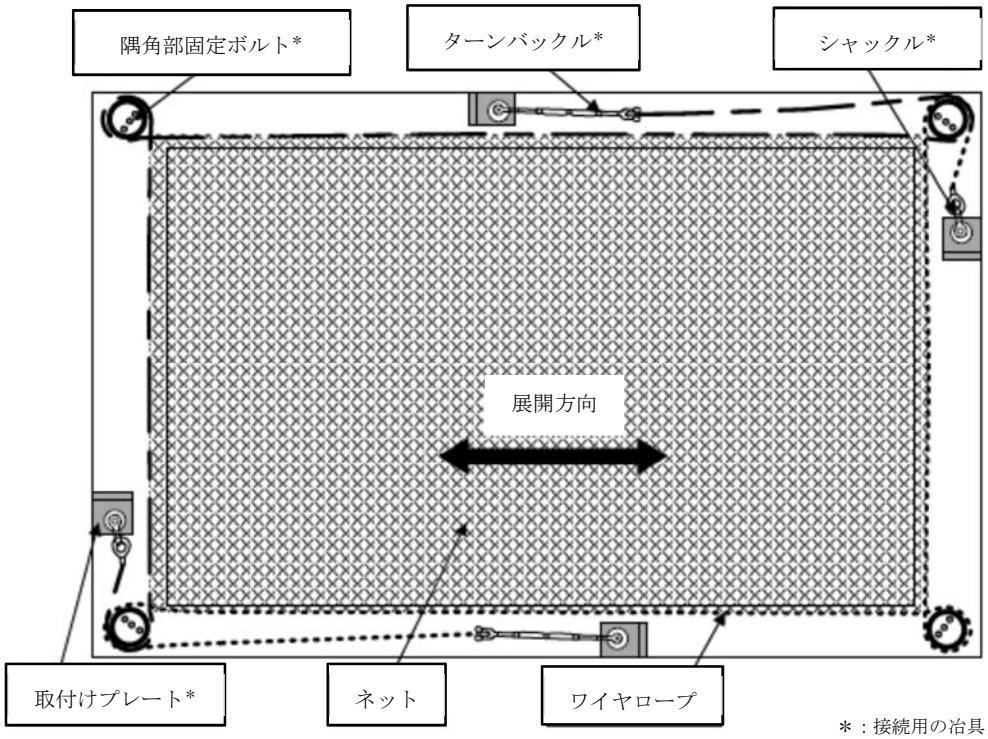
ネットは，ネットに作用する自重，飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重をワイヤロープ並びに接続冶具（支持部及び固定部）を介して，鋼製枠に伝達する。

鋼製枠は，ネットに作用する自重，飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重を，接続部を介して架構に伝達する。

ネットは，飛来物が衝突した際に局部的に生じる衝撃荷重に耐え，変形することにより飛来物の持つ運動エネルギを吸収し，外部事象防護対象施設への衝突を防止するものである。ネットは，らせん状の硬鋼線を 3 次元的に編み込み，編み込みの方向によって主に荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持っており，ネットに対してＬ字に張った 2 本のワイヤロープで支持される。

ワイヤロープは，展開方向に並行するワイヤロープと，展開方向に直交するワイヤロープが接合されていることから，ワイヤロープの張力が均一に発生する構造となっており，ワイヤロープは接続冶具（支持部）であるターンバックル及びシャックル並びに接続冶具（固定部）である取付プレート及び隅角部固定ボルトで支持される。ワイヤロープは，ネットの自重による平常時のたわみが大きくならないように，初期張力をかけ，トルク管理を行う。また，ネットは 2 枚以上重ねて敷設するため，それぞれのネットの機能が発揮されるよう，ワイヤロープや接続冶具等はネットごとに同じ構成にて設置する。

防護ネットの概要図を図 2-9 に示す。



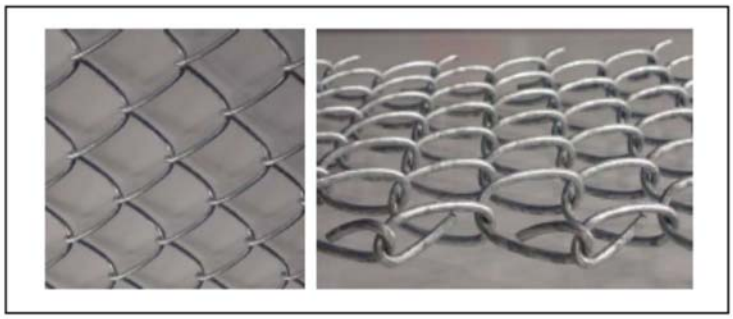


図 2-9　防護ネットの概要図

2.3　評価方針

防護ネットの強度計算は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」及び「5.　許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，防護ネットの評価対象部位に作用する応力等が，許容限界に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

防護ネットの評価フローを図 2-10 に示す。

防護ネットの強度評価においては，その構造を踏まえて，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

具体的には，設計荷重に対して，防護ネットは内側に設置した外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を捕捉し外部事象防護対象施設へ衝突させないために，破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有すること及びたわみが生じても，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう外部事象防護対象施設との離隔が確保できることを確認する。

ネットは破断が生じないことの確認として，ネットが飛来物のエネルギを吸収することができること及び飛来物の衝突箇所においてネット目合いの破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを評価する。また，防護ネットが飛来物を捕捉可能であることを確認するために，設計荷重に対して，ネットを支持するワイヤロープ及び接続冶具（支持部，固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを評価する。

評価においては，防護ネットの形状及び評価条件として，展開方向寸法と展開直角方向寸法の比（以下「アスペクト比」という。），飛来物の衝突位置の影響及びネットの等価剛性の取扱いの影響を考慮した評価を実施する。

ネット寸法のアスペクト比については，電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」（総合報告：O01）（以下「電中研報告書」という。）の評価式の適用性が確認されている 1:1～2:1 の範囲で使用し，その範囲を外れる部分はエネルギ吸収等において有効な面積とならないため，ネットの吸収エネルギ評価，ネットの破断評価及びたわみ評価において，評価ごとに保守的な設定となるように，アスペクト比を考慮した評価を実施する。アスペクト比の影響を考慮した評価におけるネット寸法の設定方法については，「3.5　評価方法」に示す。また，アスペクト比の影響を考慮した評価におけるネット寸法は，「4.　評価条件」に示す。

飛来物の衝突位置の影響については，評価において飛来物がネット中心に衝突する場合について評価を実施することから，中央位置からずれた位置（以下「オフセット位置」という。）に衝突する場合の影響を考慮し，ネット，ワイヤロープ及び接続冶具の破断評価において，評価における係数を設定する。係数の設定については「3.5　評価方法」に示す。

ネットの等価剛性については，電中研にて複数回実施している衝撃引張試験の結果から算出する。等価剛性の算出の方法を考慮し，ネットの吸収エネルギ評価及び防護ネットのたわみ評価において，評価における係数を設定する。係数の設定については，「3.4　許容限界」に示す。

ネット評価の考慮事項の選定について，表 2-1 に示す。

防護ネットを支持し，ネットに作用する荷重が伝達される架構の強度評価は，添付書類「V-3-別添 1-2-1-3　架構の強度計算書」に示す。

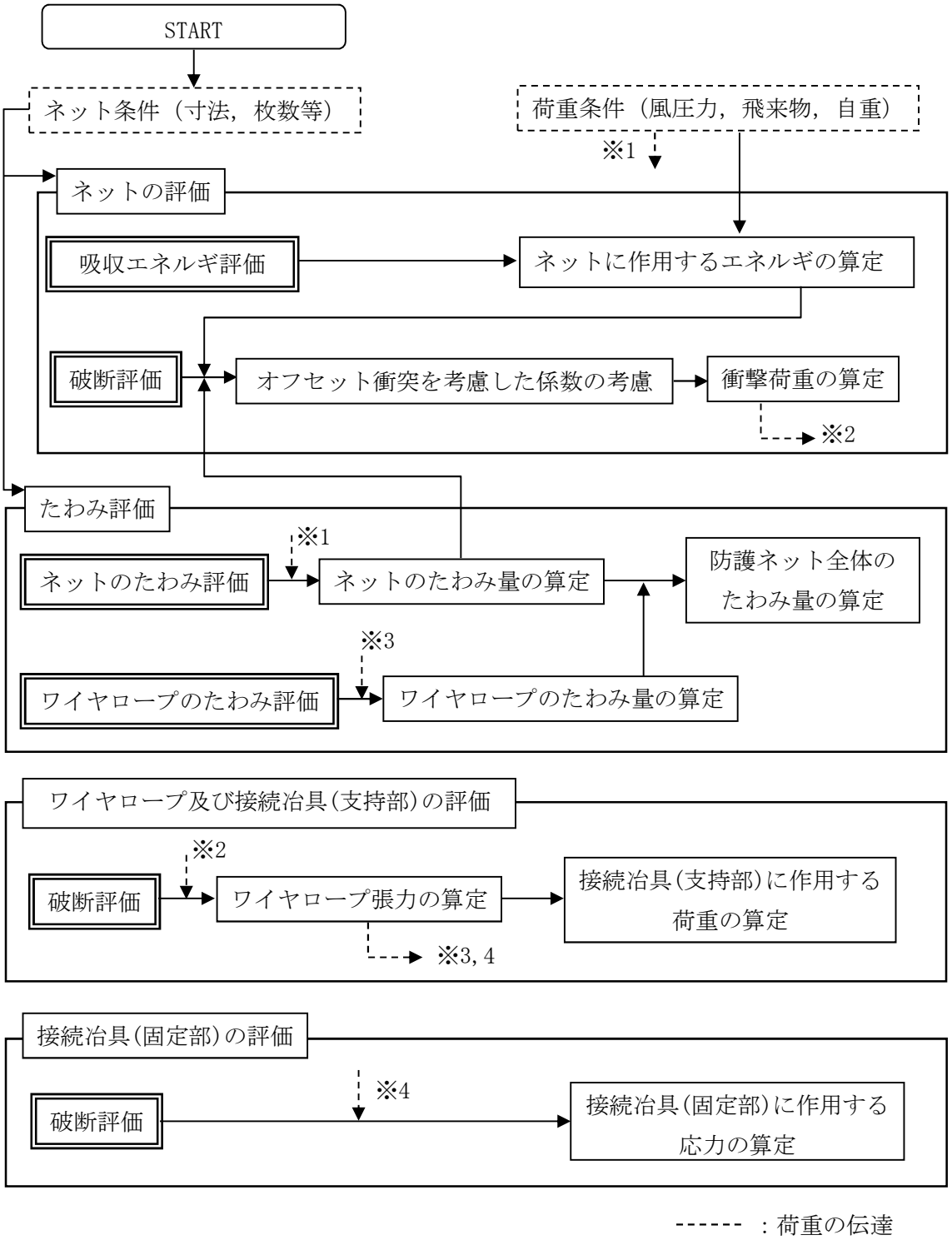


図 2-10　防護ネットの評価フロー

表 2-1　ネット評価の考慮事項の選定

	吸収エネルギ評価	破断評価	たわみ評価
算出方法	飛来物の有する運動エネルギ，自重及び風圧力により生じるエネルギを算出し，ネットに生じるエネルギの総量を算出。	自重，飛来物によるネットへの衝撃荷重及び風圧力による荷重を算出し，ネットの引張荷重及びワイヤロープの張力，接続冶具に発生する応力を算出。	自重，飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネット及びワイヤロープに生じるたわみ量を算出。
アスペクト比	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。
衝突位置	オフセット衝突時のネットの吸収エネルギは中央衝突と同等であることから，オフセットによる影響はなく考慮不要。	オフセット衝突時の衝撃荷重が中央衝突より増加することを算出荷重に考慮する。	ネットの最大たわみ位置である中央位置のたわみ及びオフセット位置のたわみを考慮して，たわみ量を設定。

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・日本工業規格(ＪＩＳ)
・「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1-2005/2007」
　(（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）
・「原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（社）日本電気協会*
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987」（社）日本電気協会*
・「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版」（社）日本電気協会*
・「鋼構造設計規準―許容応力度設計法―」（社）日本建築学会(2005)
・「建築物荷重指針・同解説」（社）日本建築学会(2004 改定)
・「小規模吊橋指針・同解説」（社）日本道路協会

注記　＊：以下，「ＪＥＡＧ４６０１」という

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 防護ネット

a. 吸収エネルギ評価

吸収エネルギ評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 吸収エネルギ評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a	mm	ネット 1 目合いの対角寸法
a_s	mm	ネット 1 目合いの破断変位
b	mm	設計飛来物の端面の長辺方向寸法
c	mm	設計飛来物の端面の短辺方向寸法
E_f	kJ	設計飛来物衝突時にネットに作用するエネルギ
E_i	kJ	i 番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギ
E_{max}	kJ	ネット設置枚数 n を考慮した限界吸収エネルギ
E_t	kJ	ネット設置枚数 n を考慮したネットに作用する全エネルギ
E_w	kJ	自重及び風圧力によりネットに作用するエネルギ
F_i	kN	設計飛来物衝突時の i 番目の列における作用力
F_w	kN	自重及び風圧力によりネットに作用する荷重
K	kN/m	ネット 1 目合いの等価剛性
K_x'	kN/m	ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
K_x	kN/m	ネット設置枚数を考慮したネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y	m	ネット展開直角方向寸法
m	kg	設計飛来物の質量
n	－	主金網の枚数
N_x	－	ネット展開方向目合い数
N_y	－	ネット展開直角方向目合い数
P_i	kN	設計飛来物衝突時にネットに発生する i 番目の列における張力
P_w	kN	ネットの自重により作用する荷重
V	m/s	設計飛来物の飛来速度
W_w	kN	風圧力によりネットに作用する荷重
X_i	m	i 列目のネットの伸び
δ_{max}	m	ネットの最大たわみ量
δ_a	m	自重及び風圧力によるネットのたわみ量
δ_i	m	i 番目の列におけるネットのたわみ角

表 3-1　吸収エネルギ評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
θ_{max}	deg	ネットの最大たわみ角
θ_{i}	deg	i 番目の列におけるネットのたわみ角

b.　破断評価

破断評価に用いる記号を表 3-2 に示す。

表 3-2　破断評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a_w	mm	取付けプレート溶接部ののど厚
A_b	mm^2	隅角部固定ボルトの呼び径断面積
C_c	－	ワイヤグリップの効率
E_t	kJ	ネット設置枚数を考慮したネットに作用する全外力エネルギ
F_1	kN	ネット1目合いの破断荷重
F_2	kN	ワイヤロープの規格値（破断荷重）
F_3	kN	ターンバックルの規格値（保証荷重）
F_4	kN	シャックルの規格値（使用荷重）
F_a	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F_a'	kN	設計飛来物衝突時にネットが受けるオフセット衝突を加味した最大衝撃荷重
F_P	kN	ワイヤロープにより接続用の冶具（支持部）に作用する荷重
F_{P1}	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に1本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
F_{P2}	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に2本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
F_x	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用するX方向の合成荷重
F_y	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用するY方向の合成荷重
L	mm	面取り長さ
L_{Pw}	mm	取付けプレート溶接部の有効長さ
L_{P1}	mm	取付けプレート長さ（縦方向）
L_{P2}	mm	取付けプレート長さ（横方向）
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y	m	ネット展開直角方向寸法

表 3-2　破断評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
n	－	主金網の枚数
n_1	－	飛来物の衝突位置周辺のネット1枚当たりの交点の個数
n_2	－	隅角部固定ボルト本数
S_w	mm	取付けプレート溶接部の溶接脚長
T'	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりn枚のネットに発生する張力の合計の最大値
T_1'	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりワイヤロープ1本に作用する張力の最大値
T_x	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
T_x'	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
T_y	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
T_y'	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
δ	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
δ_{wx}	m	ワイヤロープのｘ方向のたわみ量
δ_{wy}	m	ワイヤロープのｙ方向のたわみ量
θ	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
θ_1	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
θ_2	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
θ_{w1}	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
θ_{w2}	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
θ_x	deg	設計飛来物衝突時のネット展開方向に平行のネットたわみ角
θ_y	deg	設計飛来物衝突時のネット展開直角方向に平行のネットたわみ角
τ_s	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
τ_W	MPa	取付けプレート溶接部に発生するせん断応力

c. たわみ評価

たわみ評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-3　たわみ評価に用いる記号

記号	単位	定義
E_i	kJ	i番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギ
E_t	kJ	ネット設置枚数を考慮したネットに作用する全外力エネルギ
F_a	kN	飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F_P	kN	設計飛来物がネットに衝突する際2方向のワイヤーから支持部へ作用する合成荷重
K_x	kN/m	ネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
L_b	m	変形前のワイヤロープ長さ
L_{min}	m	防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y'	m	ワイヤロープへの飛来物の影響範囲
L_y	m	ネット展開直角方向寸法
L_z	m	ワイヤロープの全長
n	－	主金網設置枚数
N_y	－	ネット展開直角方向目合い数
S	m	変形後のワイヤロープ長さ
S_x	m	ネット展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さ
S_y	m	ネット展開直角方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さ
T_1'	kN	設計飛来物のネットへの衝突により1枚のネットのワイヤロープ1本に作用する張力の最大値
δ	m	飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
δ_i	m	飛来物衝突時のi番目の列におけるネットのたわみ量
δ'	m	設計飛来物衝突時のワイヤロープの変形による伸び量
δ_t	m	ワイヤロープのたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量
δ_w	m	ワイヤロープのたわみ量
δ_{wx}	m	ネット展開方向に平行に配置されているワイヤロープの変形後のたわみ量
δ_{wy}	m	ネット展開直角方向に平行に配置されているワイヤロープの変形後のたわみ量
ε	－	ワイヤロープのひずみ量
θ	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
θ_x	deg	設計飛来物衝突時のネット展開方向に平行のネットのたわみ角
θ_y	deg	設計飛来物衝突時のネット展開直角方向に平行のネットのたわみ角

3.2　評価対象部位

(1)　防護ネット

a.　ネット

ネットの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 防護ネットの許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は，ネットに直接作用する。このため，設計荷重に対する評価対象部位は，ネットとする。評価対象部位について図 3-1 に示す。

b.　ワイヤロープ

ワイヤロープの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1　防護ネットの許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は，ネットに作用し，ワイヤロープに作用するため，設計荷重に対する評価対象部位は，ワイヤロープとする。

c.　接続冶具（支持部）

接続冶具（支持部）の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1　防護ネットの許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は，ネットに作用し，ワイヤロープを介して接続冶具（支持部）に作用するため，設計荷重に対する評価対象部位は，接続冶具（支持部）であるターンバックル及びシャックルとする。

d.　接続冶具（固定部）

接続冶具（固定部）の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1　防護ネットの許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は，ネットに作用し，ワイヤロープ，接続冶具（支持部）を介して接続冶具（固定部）である隅角部固定ボルト，取付けプレートに作用する。

取付けプレートの評価部位は，プレート本体，プレートと鋼製枠及び支持板の溶接部並びに支持板と鋼製枠の溶接部があるが，評価上溶接線が最も短いプレートと鋼製枠及び支持板の溶接部を評価対象部位とする。

隅角部固定ボルトの評価対象部位を図 3-2 に，取付けプレートの評価対象部位を図 3-3 に示す。

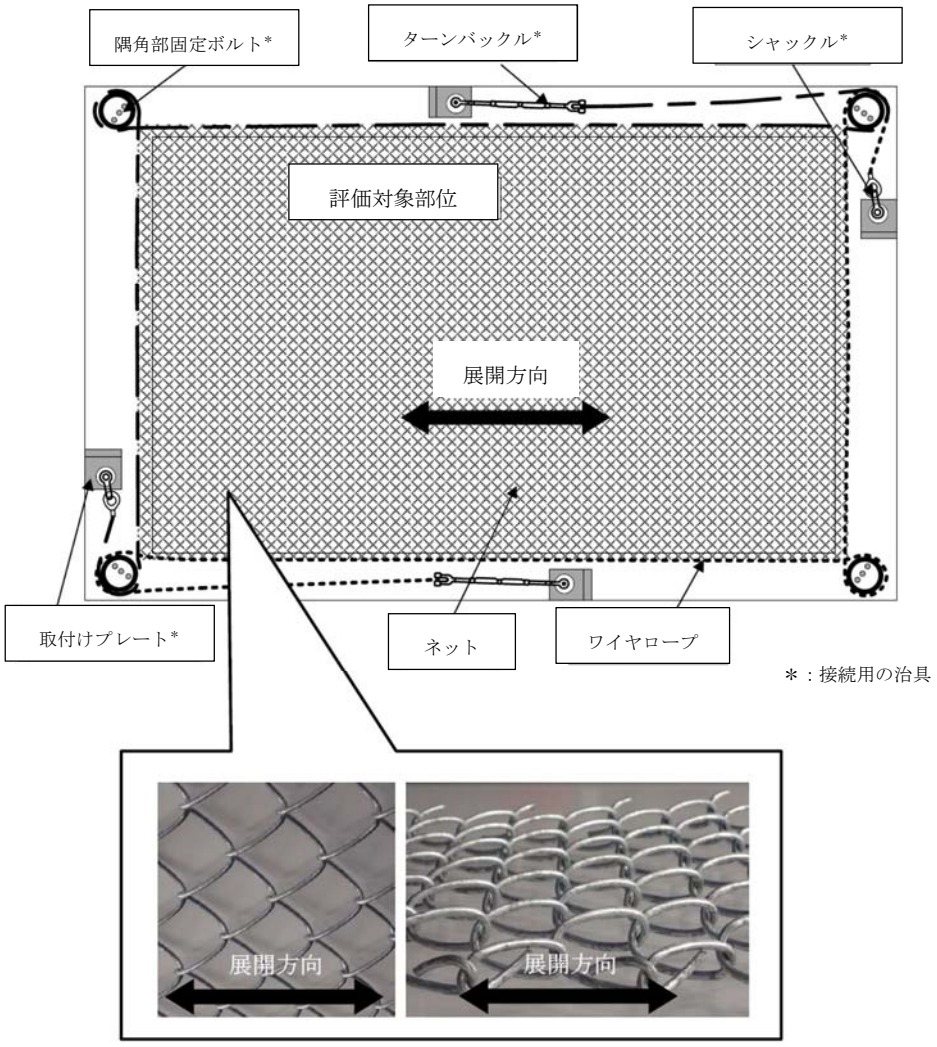


図 3-1　ネットの評価対象部位

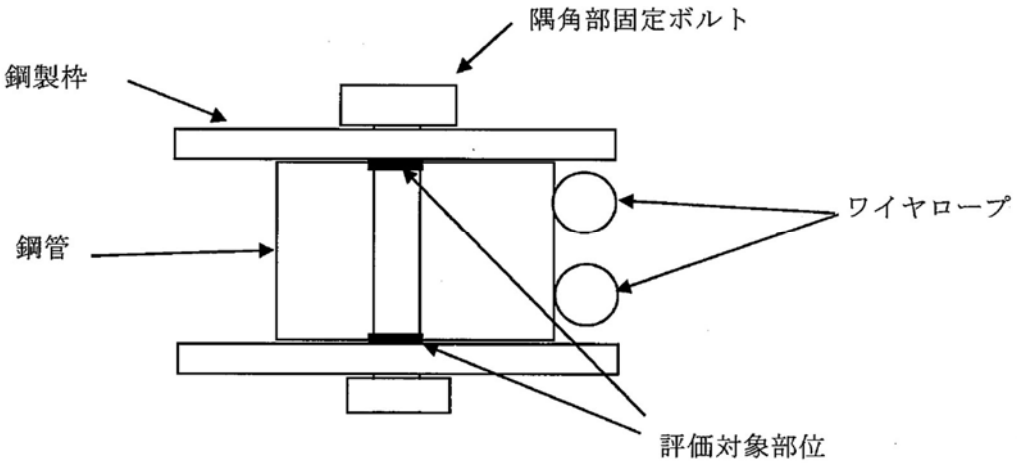


図 3-2　隅角部固定ボルトの評価対象部位

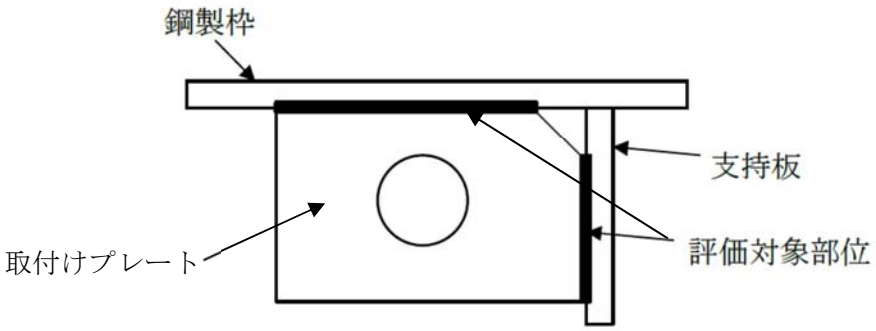


図 3-3　取付けプレートの評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の種類を踏まえ設定する。

(1)　荷重の設定

a.　常時作用する荷重

自重を考慮する。なお，これらの荷重はネットの設置方向を考慮する。自重は鉛直下向きに発生するため，水平方向に設置した防護ネットに対し，考慮することとする。鉛直方向設置ネットについては，自重と飛来物の衝突荷重は作用する方向が異なることから考慮しない。

ワイヤロープ及び接続冶具（支持部，固定部）の評価時においては，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部，固定部）の自重については，ネットから作用する荷重に比べ十分に小さいことから考慮しない。

ワイヤロープ及び接続冶具（支持部，固定部）の評価時は，ネットの自重を考慮する。

b.　設計竜巻による荷重

設計竜巻による荷重として，風圧力による荷重及び飛来物の衝撃荷重を考慮する。なお，防護ネットは閉じた空間にないため，気圧差による荷重は考慮しない。飛来物による衝撃荷重としては，衝撃荷重が大きくなる向きで飛来物がネットに衝突することを想定する。

強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-4 に示す。

表 3-4　設計竜巻による荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m^2)
100	15	85	8900

(a)　風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重W_wは，次式により算定する。

$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C \cdot A_a \cdot \phi}{1000}$$

設計用速度圧 q は，次式により算定する。

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

(b)　飛来物による衝撃荷重

破断評価においては，飛来物による衝撃荷重は以下のとおり算出する。

ネットの飛来物による衝撃荷重F_a”は時間とともに比例的に増加すると仮定すると，衝撃荷重F_a”は以下のとおり算出される。

$$F_a'' = Q \cdot t \quad \cdots (3.1)$$

したがって，速度 v は式（3.1）の衝撃荷重F_a”から，以下のとおり算出される

$$V = -\frac{1}{m}\int_0^t F_a'' \, dt$$

$$= -\frac{Q \cdot t^2}{2 \cdot m} + V_1 \quad \cdots (3.2)$$

さらに，設計飛来物の移動距離 d は，式（3.2）の速度Vから以下のとおり算出される。

$$d = \int_0^t V dt$$

$$= -\frac{Q \cdot t^3}{6 \cdot m} + V_1 t \quad \cdots (3.3)$$

設計飛来物が衝突しネットのたわみが最大になる時間t_1におけるネットの変位はδ，設計飛来物の速度は 0 であるから，式（3.2）及び（3.3）より，

$$Q \cdot t_1^2 = 2 \cdot m \cdot V_1$$

$$\delta = -\frac{Q \cdot t_1^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t_1 \quad \cdots (3.4)$$

上記 2 式を連立し，

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot V_1 \cdot t_1$$

よって，

$$t_1 = \frac{3 \cdot \delta}{2 \cdot V_1} \quad \cdots (3.5)$$

以上より，時間t_1における衝撃荷重F_aは式（3.1）及び（3.4）より，

$$F_a = \frac{2 \cdot m \cdot V_1}{t_1}$$

さらに，式（3.5）と連立し，

$$F_a = \frac{4 \cdot m \cdot V_1^2}{3 \cdot \delta} \quad \cdots (3.6)$$

また，時間t_1における設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギE_fは，衝突時の設計飛来物の運動エネルギとして，以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \quad \cdots (3.7)$$

したがって，式（3.6）及び（3.7）より，

$$F_a = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \quad \cdots (3.8)$$

(2) 荷重の組合せ

a. ネット

(a) ネット

ネットに作用する荷重として，ネットの自重，設計飛来物がネットに衝突する場合の衝撃荷重及び風圧力による荷重を組み合わせた荷重を設定する。

(b) ワイヤロープ及び接続冶具（支持部）

設計飛来物がネットに衝突する場合にワイヤロープ等に作用する荷重は，ネットからワイヤロープに伝達し，その荷重を接続冶具（支持部）であるターンバックル及びシャックルを介して接続冶具（固定部）に伝達することから，ネットに作用する荷重を評価対象部位であるワイヤロープ及び接続冶具（支持部）に作用する荷重として設定する。

ワイヤロープ及び接続冶具（支持部）に作用する自重及び風圧力による荷重については，ネットに作用する荷重に比べて十分小さいことから考慮しない。

(c) 接続冶具（固定部）

設計飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部への荷重は，ネットからワイヤロープ，接続冶具（支持部）を介して接続冶具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付けプレートに作用することから，ワイヤロープからの荷重を評価対象部位である隅角部固定ボルト及び取付けプレートに作用する荷重として設定する。

接続冶具（固定部）に作用する自重及び風圧力による荷重については，ネットに作用する荷重に比べて十分小さいことから考慮しない。

吸収エネルギ評価，破断評価及びたわみ評価における，ネット，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）に作用する荷重及びその組合せを表 3-5～表 3-7 に示す。

表 3-5　吸収エネルギ評価における荷重及びその組合せ

設置エリア		考慮する荷重		
		常時作用する荷重	飛来物による衝撃荷重	風圧力による荷重
・原子炉建屋（原子炉棟外壁及び付属棟屋上） ・海水ポンプ室周り ・使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁	水平	○ （自重）	○	－
	側面	－	○	○

＜凡例＞　○：考慮する，－：考慮しない

表 3-6　破断評価における荷重及びその組合せ

設置エリア		評価対象部位	考慮する荷重		
			常時作用する荷重	飛来物による衝撃荷重	風圧力による荷重
・原子炉建屋（原子炉棟外壁及び付属棟屋上） ・海水ポンプ室周り ・使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁	水平	ネット	○ （自重）	○	－
		ワイヤロープ ターンバックル シャックル 隅角部取付ボルト 取付プレート	○ （上載荷重*）	○	－
	側面	ネット	－	○	○
		ワイヤロープ ターンバックル シャックル 隅角部取付ボルト 取付プレート	－	○	○

＜凡例＞　○：考慮する，－：考慮しない

注記　＊：ネットの自重

表 3-7　たわみ量評価における荷重及びその組合せ

設置エリア		評価対象部位	考慮する荷重		
			常時作用する荷重	飛来物による衝撃荷重	風圧力による荷重
・原子炉建屋（原子炉棟外壁及び付属棟屋上） ・海水ポンプ室周り ・使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁	水平	ネット	○ （自重）	○	－
		ワイヤロープ	○ （上載荷重*）	○	－
	側面	ネット	－	○	○
		ワイヤロープ	－	○	○

＜凡例＞　○：考慮する，－：考慮しない
注記　＊：ネットの自重

3.4　許容限界

ネットの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「5. 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて，「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

吸収エネルギ評価，破断評価及びたわみ評価の許容限界を以下に示す。

(1)　吸収エネルギ評価

吸収エネルギ評価においては，計算により算出するネットの限界吸収エネルギがネットに作用する外力エネルギ以上であることにより，ネットが破断しないことを確認する。ネット 1 目合いの要素試験の結果から得られる目合い展開方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり，ネット最大変形角における吸収エネルギがネットの有する限界吸収エネルギ E_{max} となる。

限界吸収エネルギは，複数枚を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデルにて算出する。また，ネットの変形及び吸収エネルギの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギ評価の結果，電中研報告書を参照して，ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり，ネットに発生する張力も一定となることから，飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり，オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギは中央衝突時と同等となる。したがって，吸収エネルギ評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

限界吸収エネルギは，ネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性，展開方向寸法及びたわみ量から，以下のとおり算出される。吸収エネルギ評価におけるネットの限界吸収エネルギ算出モデル図を図3-4に示す。

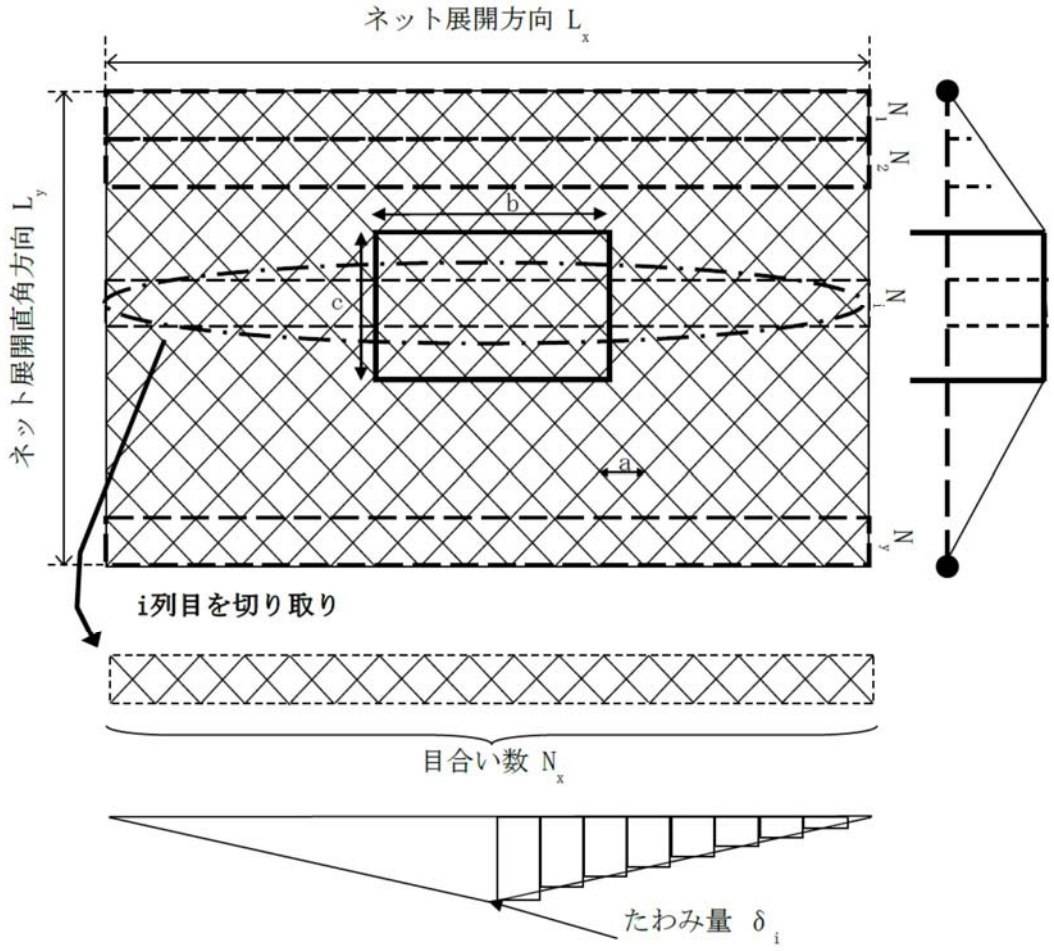


図 3-4　限界吸収エネルギ算出におけるネットのモデル図

図 3-4 に示すとおりネットの展開方向に 1 目合いごとに⬚で囲った形に帯状に分割し，N_1からN_yまでの各列が分担するエネルギを各列のたわみ量から算定し，それらを積算することによりネットの吸収エネルギを算出し，ネットが吸収可能な限界吸収エネルギを算出する。

ただし，中央部の最大たわみ量が発生する列数は，飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算出されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法（b×c）及びネット目合いの対角寸法 a を考慮し，最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。ネットの吸収エネルギが小さくなるよう，目合い列数の算出に用いる飛来物の寸法として値の小さい寸法 c を適用し，最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより，限界吸収エネルギが小さくなるように評価する。

ネット展開直角方向目合い列数＝ c / a

評価モデルとしては，展開方向に 1 目合いごとに帯状に分割するモデルとしており，限界吸収エネルギが小さく算出されるよう，三角形モデルとして評価を実施する。

吸収エネルギ評価の許容限界の算定フローを図 3-5 に示す。

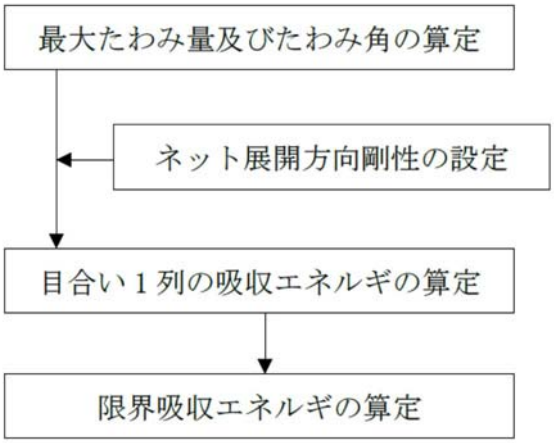
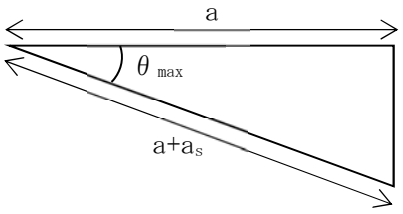


図 3-5　吸収エネルギ評価の許容限界の算定フロー

電中研報告書のネット 1 目合いの引張試験から 1 目合いの破断変位を設定する。ネット 1 目合いの破断変位から算出する最大たわみ角から，飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量δ_{max}は次式により算定される。

$$\delta_{max} = \frac{L_x}{2} \cdot \tan\theta_{max}$$

$$\theta_{max} = \cos^{-1}\left(\frac{a}{a + a_s}\right)$$



ネットを構成するネットの展開方向の目合い数N_xは，ネット展開方向寸法L_x及びネット 1 目合いの対角寸法 a から，また，展開直角方向の目合い数N_yは，ネット展開直角方向寸法L_y及びネット 1 目合いの対角寸法 a から次式により算出される。

$$N_x = \frac{1000 \cdot L_x}{a}, \quad N_y = \frac{1000 \cdot L_y}{a}$$

ただし，N_x，N_yの算出において限界吸収エネルギの値が小さくなるように，N_xは保守的に切り上げ，N_yは保守的に切り捨てた値を用いる。

ネットを構成する 1 目合いはそれぞれKの等価剛性を持っているため，1 列当たりバネ定数Kを持つバネをN_x個直列に接続したものと考えることができる。そのため，1 列当たりの剛性K_x’は次式により算出される。

$$K_x' = \frac{K}{N_x}$$

なお，電中研報告書によると補助金網は主金網 0.5 枚相当の吸収エネルギ能力を有していることが確認されていることから，補助金網を主金網 0.5 枚として考慮し，ネット設置枚数を考慮したネット展開方向剛性K_xは，次式により算出される。

$$K_x = K_x' (n + 0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量δ_iは，最大たわみ量δ_{max}からネット端部のたわみ量0までの間を，非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大たわみ量と最大たわみ角を図3-6に示す。

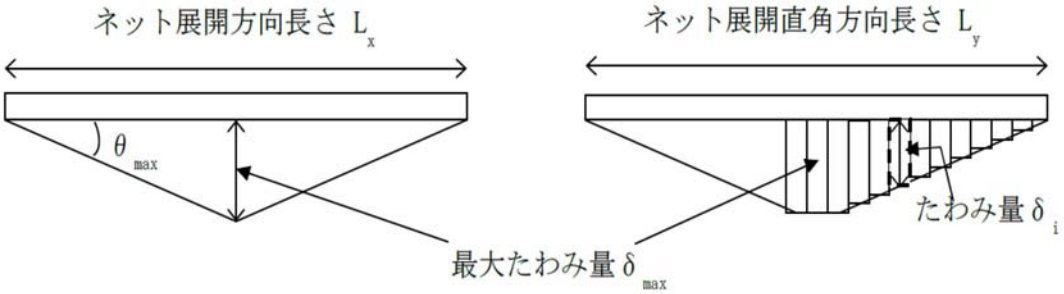


図3-6　最大たわみ量と最大たわみ角

ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を，ネットの剛性及びネットの伸び量から算出する。ネットに作用する力のつり合いを図3-7に示す。

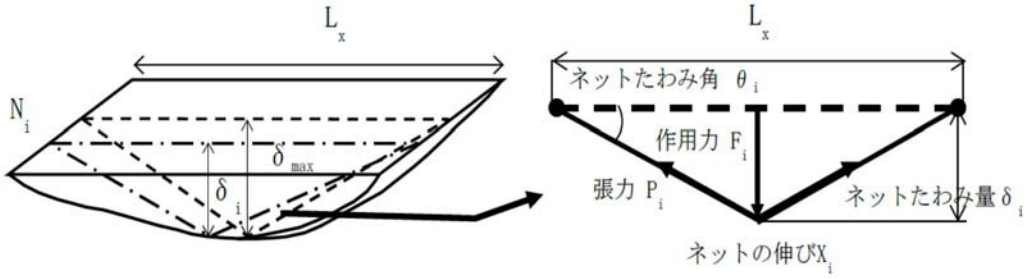


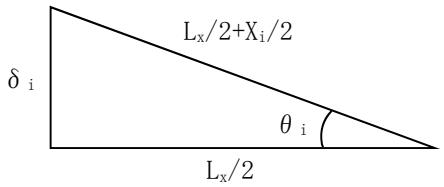
図3-7　ネットに作用する力のつり合い

i 番目の列におけるネットの張力P_iは，飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると，伸び量は$X_i/2$，剛性は$2K_x$となることから，

$$P_i = 2 \cdot K_x \left(\frac{X_i}{2} \right)$$
$$= K_x \cdot X_i$$

となる。また，作用力F_iは変位量とたわみ量の関係から，

$$F_i = 2 \cdot P_i \cdot \sin\theta_i$$
$$= 2 \cdot K_x \cdot X_i \cdot \sin\theta_i$$
$$= 2 \cdot K_x \cdot L_x \left(\tan\theta_i - \sin\theta_i \right)$$
$$= 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) \quad \cdots \quad (3.9)$$



ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる作用力F_iを積分することにより得られる，i番目の列における吸収エネルギE_iを次式に示す。

$$E_i = \int_0^{\delta_i} F_i \, d\delta_i$$
$$= \int_0^{\delta_i} 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta_i$$
$$= 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \quad \cdots \quad (3.10)$$

以上から，ネット設置枚数nを考慮した限界吸収エネルギE_{max}は，各列の吸収エネルギE_iを第1列から第N_y列まで積算することにより求められる。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} E_i$$
$$= \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\} \quad \cdots \quad (3.11)$$

(2) 破断評価

a. ネット

破断評価においては，計算により算出するネットに作用する荷重がネットの素材の持つ破断強度以下であることにより，ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。ネットは，飛来物の衝突に対し，塑性変形することでエネルギを吸収し，飛来物を捕捉することから，電中研報告書を参照してネット1目合いの引張試験に基づいた1交点当たりの破断荷重F_1，飛来物衝突時の周辺のネット1枚当たりの交点数n_1及びネットの設置枚数から，ネット設置枚数を考慮した許容引張荷重を算出する。

表3-8にネットの破断評価の許容限界を示す。

表 3-8　ネットの破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界
ネット	$F_1 \cdot n_1 \cdot (n+1)$

b.　ワイヤロープ

ワイヤロープは，ネットと一体となって飛来物を捕捉するため，ネットと同様に塑性変形を許容することから，破断荷重を許容限界とする。具体的な破断荷重は，ネットメーカが実施した引張試験にて確認した破断荷重よりも保守的な値である，ＪＩＳに規定されている破断荷重F_2に，端部のワイヤグリップの効率C_cを乗じて設定する。

表 3-9 にワイヤロープの破断評価の許容限界を示す。

表 3-9　ワイヤロープの破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界	備考
ワイヤロープ	$C_c \cdot F_2$	ワイヤグリップの効率を考慮

c.　接続冶具（支持部）

接続冶具（支持部）であるターンバックル及びシャックルは，破断しなければネットを設置位置に保持することができ，飛来物を捕捉可能である。したがって，ワイヤロープの張力に対し，設計荷重が十分な裕度を有していることを確認する。ターンバックルについては，破断荷重よりも保守的な値である，規格値F_3を 1.5 倍した値を許容限界として設定する。シャックルについては，試験結果を踏まえたメーカ保証値として，規格値F_4を 2 倍した値を許容限界として設定する。

表 3-10 に接続冶具（支持部）の破断評価の許容限界を示す。

表 3-10　接続冶具（支持部）の破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界
ターンバックル	$1.5 \cdot F_3$
シャックル	$2.0 \cdot F_4$

d.　接続冶具（固定部）

接続冶具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付けプレートの破断評価においては，計算により算出する応力により破断が生じないよう，十分な余裕を持った強度を許容限界とする。具体的には，隅角部固定ボルト及び取付けプレートの許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「その他の支持構造物」の許容限界を適用し，許容応力状態III_AＳから算出した許容応力とする。

接続冶具（固定部）の破断評価の許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11　接続冶具（固定部）の破断評価の許容限界

評価対象部位	材質	温度 (℃)	考慮すべき 損傷モード	許容応力 (MPa)
隅角部固定ボルト	SCM435	40*1	せん断	1.5・f_s*2
取付けプレート 溶接部	SM490A*3			

注記　＊1：各評価対象部位の最高使用温度を示す。
＊2：f_s：許容せん断応力　ＪＳＭＥ　SSB-3120 又は SSB-3130 に規定される値
＊3：母材である取付けプレートの材質

(3)　たわみ評価

防護ネットのたわみ評価においては，自重，設計飛来物による衝撃荷重及び設計竜巻の風圧力による荷重に対し，計算により算出する防護ネットの最大たわみ量が防護ネットと外部事象防護対象施設の離隔距離未満であることを確認するため，防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離を許容限界L_{min}として設定する。

表 3-12 に防護ネットのたわみ評価の許容限界を示す。

表 3-12　防護ネットのたわみ評価の許容限界

評価対象項目	許容限界
防護ネットの 最大たわみ量	防護ネットと外部事象防護対象施設の 最少隔離距離（L_{min}）

3.5　評価方法

防護ネットの吸収エネルギ評価，破断評価及びたわみ評価の方法を以下に示す。評価に際しては，アスペクト比及び飛来物の衝突位置の影響に対して以下を考慮した評価を実施する。

・アスペクト比の取扱い

ネットは展開方向，展開直角方向の2方向で剛性が異なり，それぞれの方向に対して伸び量の制限があるため，展開方向：展開直角方向のアスペクト比が1:1～2:1の範囲で使用し，その範囲を外れる部分はエネルギ吸収等において有効な面積とならないとして評価する。アスペクト比が1:1より小さな場合（展開方向寸法が展開直角方向寸法より短い場合）は，アスペクト比を1:1として評価する。エネルギ吸収できる量が小さく，破断荷重が大きく算出されるように設定する。アスペクト比が2:1より大きな場合（展開方向寸法が展開直角方向寸法の2倍より長い場合）は，ネット評価寸法のアスペクト比を2:1とするが，吸収エネルギ評価及びたわみ評価においては，エネルギ吸収量が小さく，たわみ量が大きくなるように，展開方向の1列の等価剛性は本来のネット形状の展開方向寸法に対応する値を用いて評価する。一方，破断評価においては，破断荷重が大きくなるように，展開方向寸法を短く見込んで等価剛性を設定し評価する。

アスペクト比が 1:1 より小さな場合の評価方法を表 3-13，アスペクト比が 2:1 より大

きな場合の評価方法を表 3-14 に示す。

表 3-13　アスペクト比が 1:1 より小さな場合の評価方法

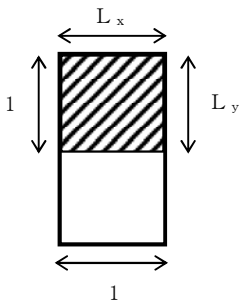
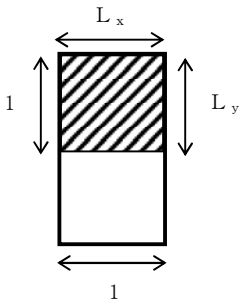
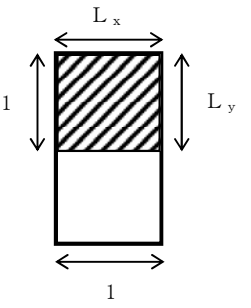
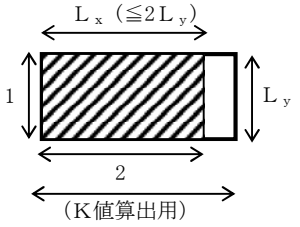
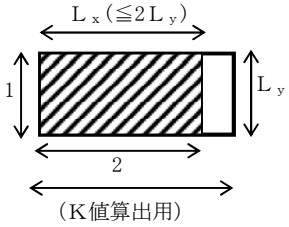
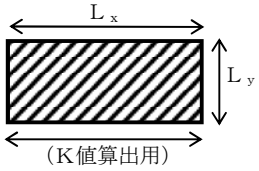
評価項目	吸収エネルギ	破断	たわみ
評価区画イメージ			

表 3-14　アスペクト比が 2:1 より大きな場合の評価方法

評価項目	吸収エネルギ	破断	たわみ
評価区画イメージ	限界吸収エネルギ量が小さくなるように，剛性K_xを算出するためのネット寸法を小さく設定する。 	式（3.8）において，たわみ量が小さくなることにより，作用する荷重が大きくなるように，ネット寸法を小さく設定する。 	たわみ量が大きくなるように，剛性K_xを算出するためのネット寸法を大きく設定する。 

・飛来物の衝突位置の影響

評価においては，飛来物の衝突位置として中央位置に衝突することを想定した評価を実施しており，中央位置からずれたオフセット位置に衝突する場合の影響を考慮する。

吸収エネルギ評価においては，電中研報告書を参照して，ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり，ネットに発生する張力も一定となることから，飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり，オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギは中央衝突時と同等となる。したがって，吸収エネルギ評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

破断評価においては，中央位置への衝突に対してオフセット位置への衝突では，その移動距離が短くなることから，式（3.8）から中央位置衝突時よりもオフセット位置衝突時の方が作用する荷重が大きくなることを踏まえ，作用する荷重が大きくなるように，中央位置衝突時とオフセット位置衝突時の移動距離を踏まえた係数を作用する荷重に乗

じる。ただし，ネット端部近傍に衝突する場合には，飛来物は傾き，飛来物の側面がネットや架構に接触すると考えられ，衝撃荷重は小さくなる。

たわみ評価においては，ネットの全長が飛来物の衝突位置によらず，ネット最大たわみ時展開方向の長さで一定となるため，たわみの軌跡が楕円状となることを考慮して評価する。さらに，ネットに対して飛来物がオフセット位置へ衝突した場合においても，各ワイヤロープに対して均等に張力が発生するため，算出結果は飛来物の衝突位置によらず適用可能である。また，ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープの評価において有意ではないため計算上考慮しない。

(1) 吸収エネルギ評価

吸収エネルギ評価においては，電中研評価式を参照して，ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギ算出のモデル化を行い，自重，風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重による外力エネルギがネットの有する限界吸収エネルギを下回ることを確認する。

評価においては，複数枚の重ね合わせたネットを一体として考えたモデルにて評価を実施する。

式（3.11）より，E_{max}は以下のとおりである。

$$E_{max}=\sum_{i=1}^{N_y}\left\{2\cdot K_x\cdot\delta_i^2-K_x\cdot L_x\left(\sqrt{4\cdot\delta_i^2+L_x^2}-L_x\right)\right\}$$

自重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重F_wは，ネット全体に等分布荷重として作用するものであるため，実現象に合わせネット展開直角方向に対しては荷重が等分布となるよう作用させる。一方，ネット展開方向に対しては，評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため，ネットに作用する外力エネルギが保守的に大きくなるよう，F_wが全てネット展開方向L_xの中央に作用したとして，ネットにかかる作用力の式を用いて展開方向の１列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受ける外力エネルギを算出し，列数倍することでネット全体が自重及び風圧力による荷重により受ける外力エネルギを算出する。

評価条件であるK_x及びL_x並びに自重及び風圧力による荷重から算出するF_wを式（3.9）に代入して数値計算を実施することにより，自重及び風圧力による荷重によるたわみ量δ_aが算出される。

$$F_w=N_y\cdot 4\cdot K_x\cdot\delta_a\left(1-\frac{L_x}{\sqrt{4\cdot\delta_a^2+L_x^2}}\right)$$

ただし，$F_w=P_w+W_w$

上式にて算出したδ_aを，式（3.11）において，展開方向の１列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギを列数倍する以下の式に代入することにより，自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギE_wが算出される。

$$E_w=N_y\left\{2\cdot K_x\cdot\delta_a^2-K_x\cdot L_x\left(\sqrt{4\cdot\delta_a^2+L_x^2}-L_x\right)\right\}$$

設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギE_fは，衝突時の設計飛来物の運動エネルギとして，以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

設計飛来物の飛来速度は，ネットの設置方向により，水平設置の場合は鉛直の飛来速度，鉛直設置の場合は水平の飛来速度にて算出する。斜め方向から衝突した場合の飛来速度の水平方向速度成分及び鉛直方向速度成分は，評価に用いる水平最大飛来速度及び鉛直最大飛来速度を下回る。また，飛来物がネットに対して斜め方向から衝突する場合は，飛来物が衝突後に回転し，ネットと飛来物の衝突面積が大きくなるため，ネットに局部的に作用する荷重は小さくなる。したがって，飛来物の衝突方向は，ネットに局部的に作用する荷重が大きくなるようにネットに対して垂直に入射するものとし，その飛来速度はネットの設置方向に応じ，水平設置の場合は鉛直最大飛来速度，鉛直設置の場合は水平最大飛来速度を用いる。

以上から，ネット設置枚数ｎを考慮したネットに作用する全外力エネルギE_tが以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w \quad \cdots \quad (3.12)$$

(2) 破断評価

破断評価においては，電中研の評価式を参照して，ネットに作用する飛来物による衝撃荷重が防護ネットを構成する部材の局部的な耐力未満であることを確認する。

評価に際しては，「2.3 評価の方針」のとおり，設計飛来物の衝突位置の影響として，オフセット衝突する場合の影響を考慮する。以下にオフセット衝突する場合の影響を係数として考慮した発生値の割増係数の設定方法を示す。

・オフセット衝突を考慮する係数

設計飛来物の移動距離が最も小さくなる場合のオフセット衝突を考えると，中央衝突と比較してδが0.82倍となることから，中央衝突に比べ衝撃荷重が1.22倍となる。

ネット端部近傍に衝突する場合には，飛来物は傾き，飛来物の側面がネットや架構に接触すると考えられ，衝撃荷重は小さくなる。

また，アスペクト比についての扱いは吸収エネルギ評価同様に表 3-12，表 3-13 のとおりとする。

a. ネット

ネットに設計飛来物が衝突した後，ネットのたわみが増加し，飛来物の運動エネルギを吸収する。ネットに発生する設計飛来物による衝撃荷重はネット変位の増加に伴い大きくなり，最大変位発生時に最大値を示すため，破断評価では最大変位発生時の衝撃荷重を用いる。

最大変位発生時において，設計飛来物の衝突によりネットの目合いはネット展開方向に引張荷重を受けることから，破断評価としてネット目合いの引張荷重評価を実施する。

ネットの破断評価の評価フローを図 3-8 に示す。

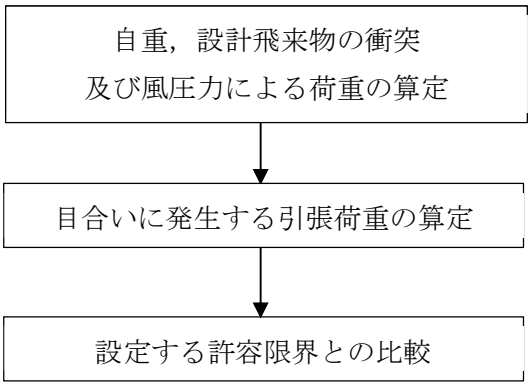


図 3-8　ネットの破断評価フロー

(a)　評価モデル

ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃について評価を実施する。ネット構造及び飛来物の大きさを考慮し，ネットの目合い数が最小となるモデル化を行う。衝突位置周辺の目合い数はネット 1 枚あたり n_1 点となる。評価モデル図を図 3-9 に示す。

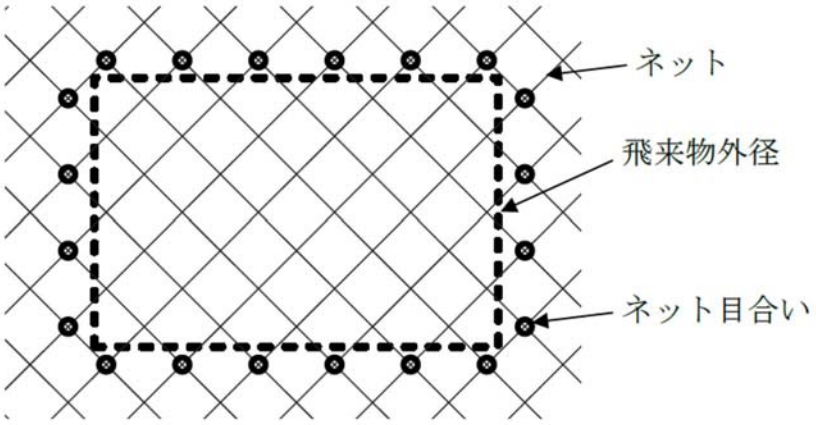


図 3-9　破断評価モデル図

(b)　評価方法

ネットに設計飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重が，ネットの破断荷重以下であり，ネット目合いに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。

ここで，ネットに設計飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値 F_a は，「3.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算出した式（3.8）のたわみ量と設計飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

設計飛来物の衝突による荷重に加え，自重及び風圧力による荷重を考慮するため，E_f を E_t と置き換えて，式（3.8）より，

$$F_a = \frac{8 \cdot E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

ここで，オフセット衝突による衝撃荷重の増加分による係数1.22を考慮し，衝撃荷重の最大値F_a’は

F_a’ ＝ 1.22・F_a

にて算出される。

b. ワイヤロープ

設計飛来物による衝撃荷重については，「3.3 荷重及び荷重の組合せ」において算出した飛来物が衝突する場合のネットごとに作用する衝撃荷重の最大値F_a’を考慮する。

防護ネットは，電中研報告書と同様に2本のワイヤロープをL字に設置し，さらにワイヤロープが接続用の冶具により拘束されない構造としており，電中研報告書において実施されている衝撃試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。ネットに発生する荷重のつり合いのイメージ図を図 3-10 に示す。

自重，設計飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する衝撃荷重の最大値F_a’が集中荷重として作用するとしてモデル化すると，飛来物が衝突する場合のネットに発生する張力の合計の最大値T’は，図 3-10 のネット及びワイヤロープに発生する力のつり合いより以下のとおり算出される。

$$T' = \frac{F_a'}{2 \cdot \sin\theta}$$

ただし，θは以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1}\frac{2 \cdot \delta}{L_x}$$

補助金網を除くネット設置枚数を考慮すると，1 枚のネットのワイヤロープ 1 本に発生する張力の最大値T_1’は，

$$T_1' = \frac{T'}{2} \cdot \frac{1}{n} = \frac{F_a'}{4 \cdot n \cdot \sin\theta}$$

と算出される。

さらに，ワイヤロープが支持する防護ネットの枚数を考慮する。上段のワイヤロープには補助金網が設置されており，2枚のネットを支持しているため，下段のワイヤロープより大きな荷重が作用することとなるため，補助金網設置に伴う荷重の分担を考慮する。

電中研報告書によると，補助金網を設置している上段のワイヤロープには，補助金網を設置していないワイヤロープに比べ，1.5倍の張力が発生していることが確認されている。このことから，上段のワイヤロープは，下段のワイヤロープに比べ，補助金網の影響により1.5倍の張力が発生しているものとし，その影響を考慮する。

補助金網を支持しているワイヤロープに発生する張力の最大値T_1’は，

$$T_1' = \frac{T'}{2} \cdot \left(\frac{1.5}{1.5+1}\right) = \frac{F_a'}{4 \cdot \sin\theta} \cdot \left(\frac{1.5}{1.5+1}\right) \quad \cdots \quad (3.13)$$

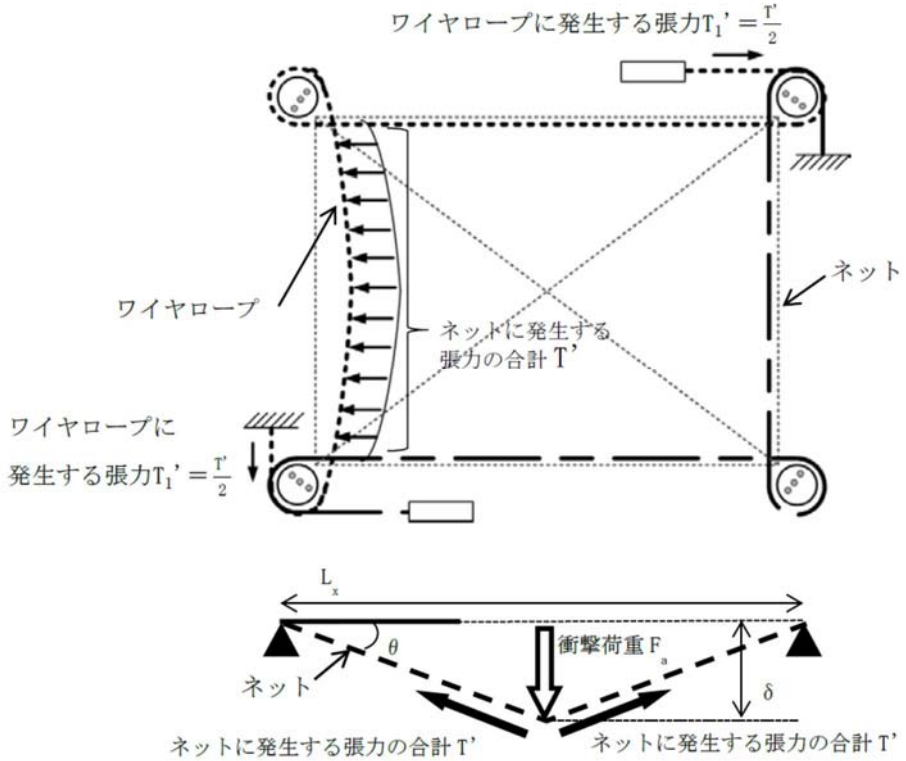


図 3-10　ネット及びワイヤロープに発生する力のつり合い(ネット平面図及び断面図)

c.　接続冶具（支持部）

(a)　ターンバックル

ターンバックルについては，以下の評価を実施する。

ターンバックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が，ターンバックルの設計荷重以下であることを確認する。

(b)　シャックル

シャックルについては，以下の評価を実施する。

シャックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が，シャックルの設計荷重以下であることを確認する。

d.　接続冶具（固定部）

(a)　隅角部固定ボルト

鋼製枠の四隅に設置した隅角部固定ボルトは，ワイヤロープの荷重を，鋼管を介して受けることとなる。

ここで，ワイヤロープはたわみにより鋼管に対してθ_{w1}，θ_{w2}のたわみ角を有することから，隅角部固定ボルトへ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。

鉛直方向成分は，水平方向成分のように隅角部固定ボルトに対する有意な荷重ではないことから，面内荷重で評価する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を図 3-11 に示す。

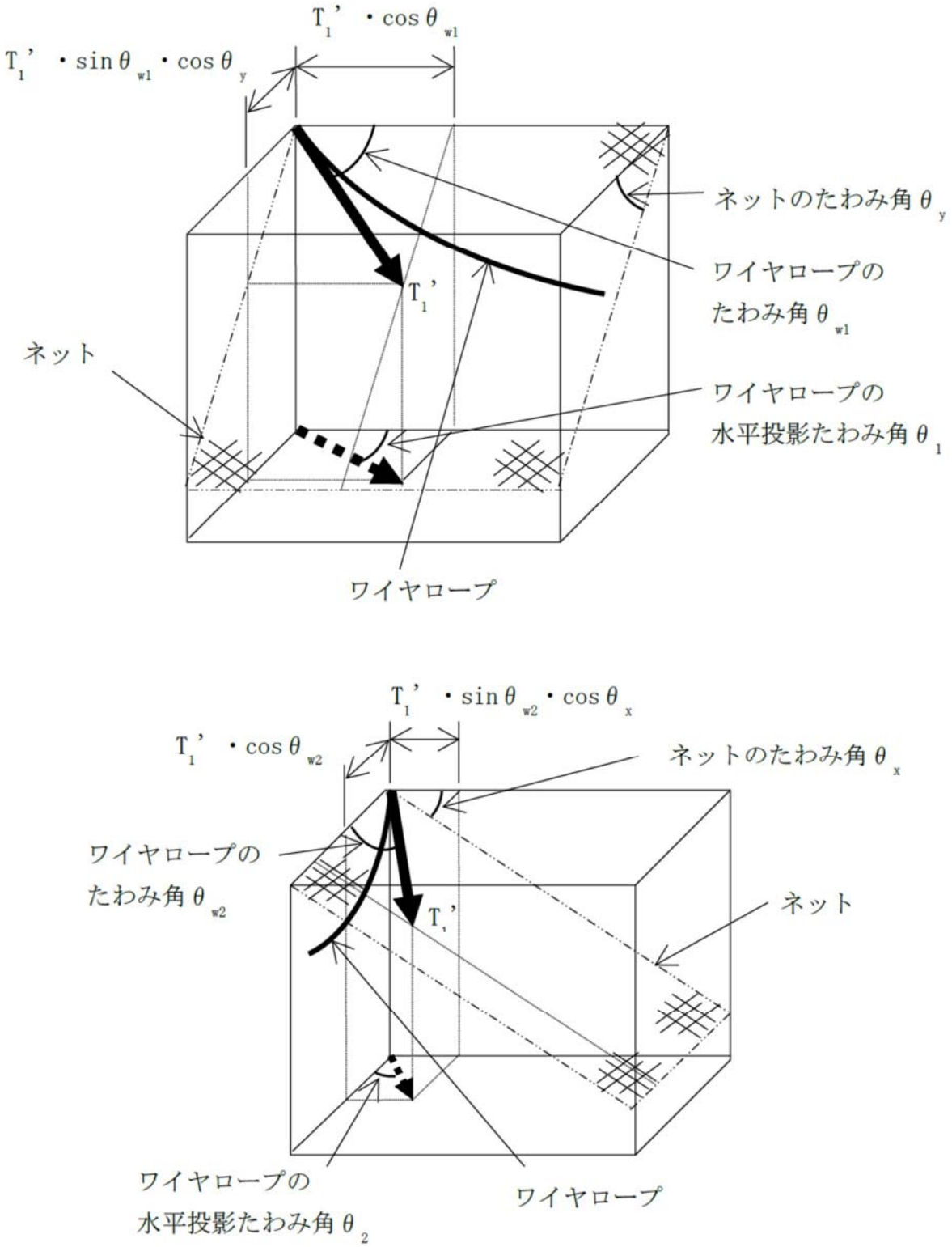


図 3-11　ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

隅角部固定ボルトの荷重状態を図 3-12 に示す。

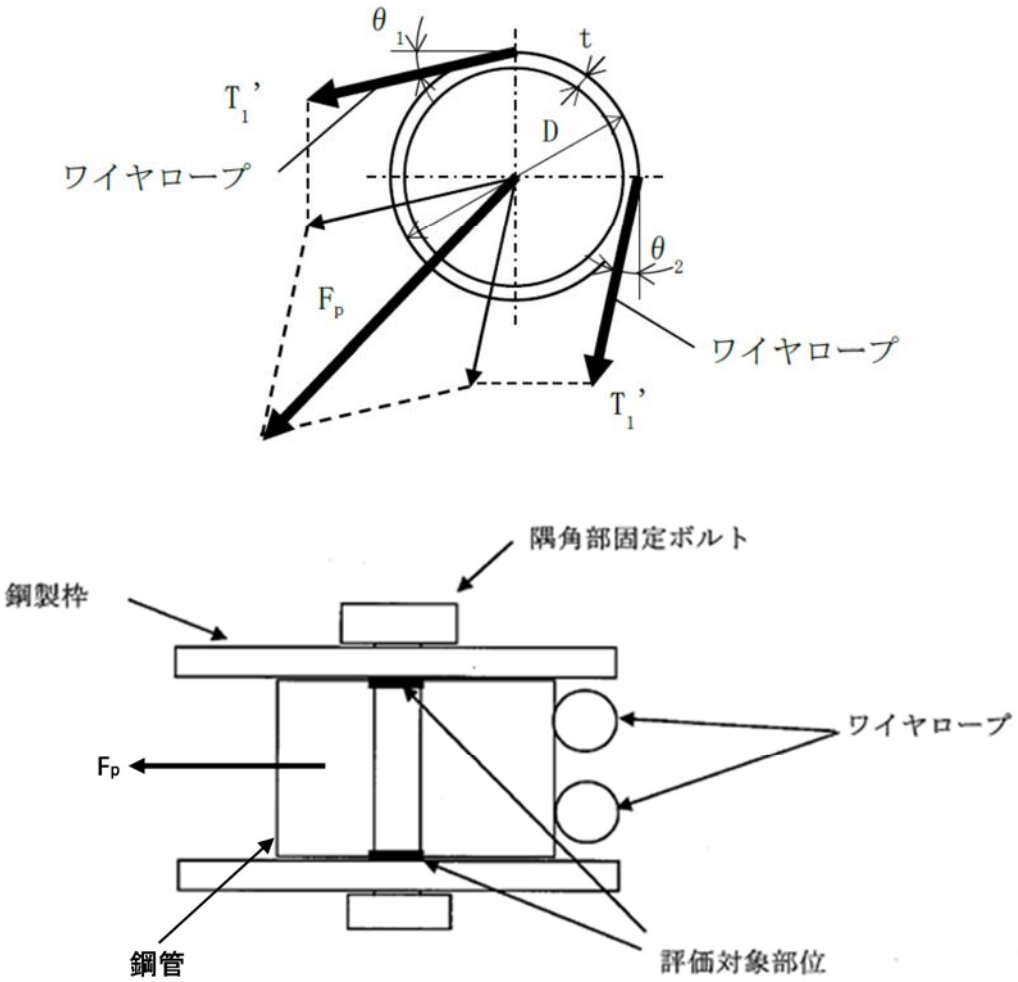


図 3-12　隅角部固定ボルトの荷重状態

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力のつり合いの関係から以下の評価式を用いて算出する。

ネット展開方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重，T_x及びT_yは，以下のとおりとなる

$$T_x = T_1' \cdot \cos\theta_{w1}$$

$$T_y = T_1' \cdot \sin\theta_{w1} \cdot \cos\theta_y$$

ただし，θ_y，θ_{w1}は以下の式で求められる。

$$\theta_y = \tan^{-1}\left(\frac{2 \cdot \delta}{L_y}\right)$$

$$\theta_{w1}=\cos^{-1}\frac{1}{\sqrt{1+16\left(\frac{\delta_{wx}}{L_x}\right)^2}}$$

また，ネット展開直角方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重，T_x’及びT_y’は以下の関係となる。

$$T_x'=T_1'\cdot\sin\theta_{w2}\cdot\cos\theta_x$$

$$T_y'=T_1'\cdot\cos\theta_{w2}$$

ただし，θ_x，θ_{w2}は以下の式で求められる。

$$\theta_x=\tan^{-1}\left(\frac{2\cdot\delta}{L_x}\right)$$

$$\theta_{w2}=\cos^{-1}\frac{1}{\sqrt{1+16\left(\frac{\delta_{wy}}{L_y}\right)^2}}$$

隅角部へ作用するＸ方向及びＹ方向への合成荷重は，

$$F_x=T_x+T_x'$$

$$F_y=T_y+T_y'$$

より求まる。

1 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は，

$$F_{p1}=\sqrt{F_x^2+F_y^2}$$

より求まる。

2 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は，

$$F_{p2}=F_{p1}／1.5$$

より求まる。

ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重F_pは，

$$F_p=F_{p1}+F_{p2}$$

以上より，隅角部固定ボルトに発生するせん断応力τ_sは，

$$\tau_s=\frac{F_p}{2\cdot n_2\cdot A_b}$$

e.　取付けプレート

飛来物が防護ネットに衝突する場合に生じるネット取付部への衝撃荷重Ｔ$_1$’は，ワイヤロープの引張荷重として作用し，隅肉溶接部にはせん断応力が発生するため，せん断応力評価を実施する。取付けプレートの溶接部を図 3-13 に示す。

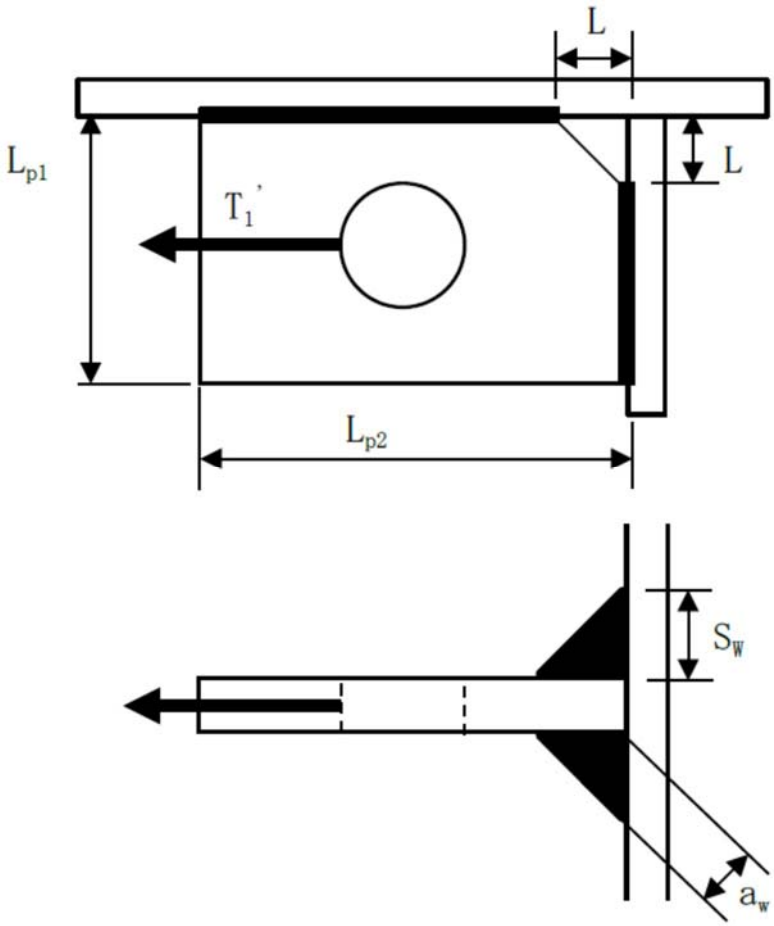


図 3-13　取付けプレート溶接部

溶接部の有効脚長Ｌ$_{pw}$は，

$$L_{pw}=L_{p1}-L-2\cdot S_w+L_{p2}-L-2\cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力τ$_w$は，

$$\tau_w=\frac{T_1'}{2\cdot a_w\cdot L_{pw}}$$

ここで溶接部ののど厚ａ$_w$は以下の式で求められる。

$$a_w=\frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

(3)　たわみ評価

たわみ評価においては，吸収エネルギ算出モデルを用い，設計飛来物の運動エネルギ，風圧力による荷重及び自重によるエネルギを吸収するために必要となるネットのたわみ量を算出する。また，ワイヤロープ張力に応じたワイヤロープのたわみ量についても算出し，離隔距離未満であることを確認する。

たわみ評価の評価フローを図 3-14 に示す。

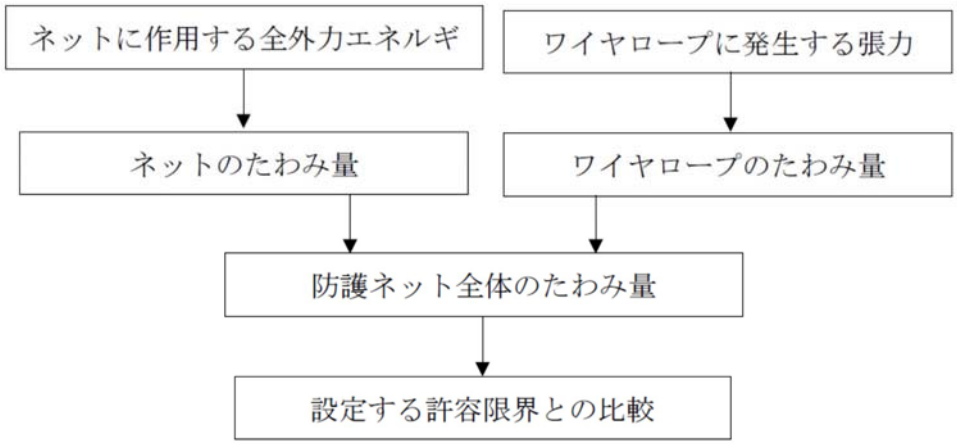


図 3-14　たわみ評価の評価フロー

a.　ネット

ネットの変位量と吸収エネルギとの関係は式（3.10）のとおり，以下の式にて導出される。

$$E_i = 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right)$$

ここで，K_x及びL_xは定数であるため，

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$

とすることで，ネットへの付加エネルギに応じたたわみ量δを算出することができる。

b.　ワイヤロープたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は，ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし，算出したワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果（荷重－ひずみ曲線）から変形後のワイヤロープ長さを求めることで導出する。

また，ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため，計算上考慮しない。

式（3.13）に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量εが算出される。したがって，ワイヤロープの変形による伸び量δ’は，以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

また，設計飛来物の衝突によりワイヤロープが図 3-15 のとおり放物線状に変形すると，変形後のワイヤロープ長さＳは放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

$$S = \frac{1}{2}\sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2} + \frac{L_b^2}{8 \cdot \delta_w} \ln\left(\frac{4 \cdot \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2}}{L_b}\right)$$

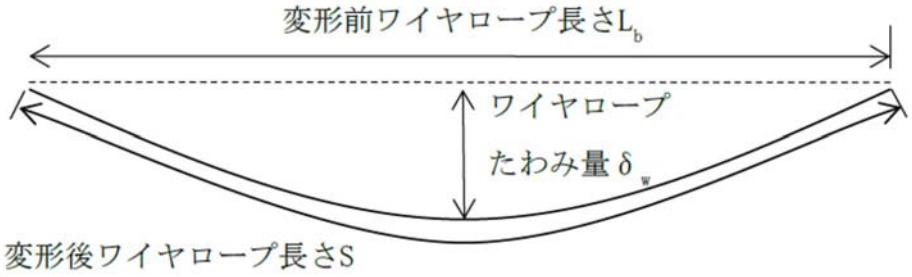


図 3-15　ワイヤロープ変形図

ワイヤロープたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量δ_tの算出を行う。ネット及びワイヤロープ変形図を図 3-16 に示す。

ネット展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さをS_x，ネット展開直角方向に配置されているワイヤロープの変形後の長さをS_yとすると，S_x及びS_yはそれぞれδ_{wx}，δ_{wy}の関数であり，ワイヤロープ伸び量δ'は，

$$\delta' = \left\{S_x\left(\delta_{wx}\right) - L_x\right\} + \left\{S_y\left(\delta_{wy}\right) - L_y\right\}$$

と表される。

また，ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と，ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから，ワイヤロープたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量δ_tは，

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2 \cdot \cos\theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_y}{2 \cdot \cos\theta_y}\right)^2 - \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}$$

と表される。

ここで，θ_x及びθ_yは，「3.5(3)a.　ネット」で算出したネットに作用する全外力エネルギE_tに応じたたわみ量δより，以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1}\left(\frac{2 \cdot \delta}{L_x}\right) \qquad \theta_y = \tan^{-1}\left(\frac{2 \cdot \delta}{L_y}\right)$$

したがって，ワイヤロープたわみ量δ_{wx}及びδ_{wy}を導出することができ，同時にワイヤロープたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量δ_tが算出される。

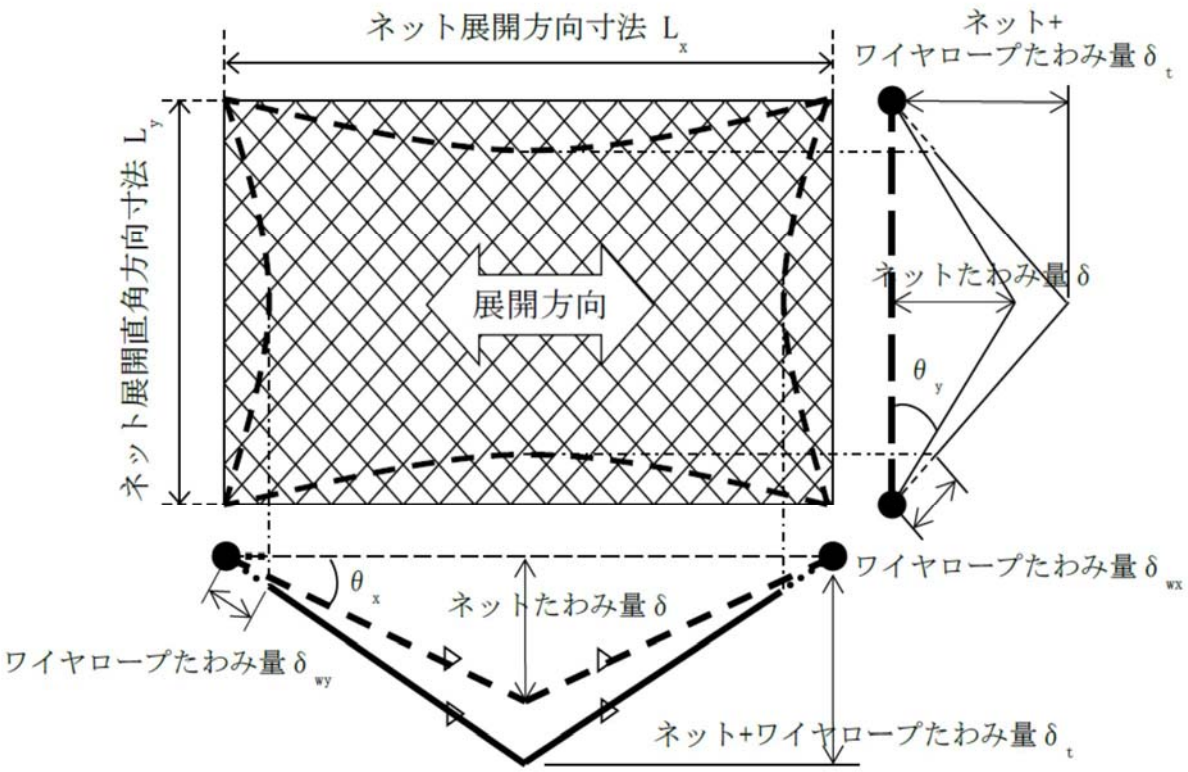


図 3-16　ネット及びワイヤロープ変形図

4.　評価条件

4.1　荷重条件

設計飛来物による衝撃荷重の算定条件を表 4-1 に，風圧力による荷重の算定条件を表 4-2 に示す。

表 4-1　設計飛来物による衝撃荷重の算定条件

飛来物	b × c (mm)	m (kg)	v_1 (m/s)	
			水平方向	鉛直方向
鋼製材	300×200	135	51	34

表 4-2　風圧力による荷重の算定条件

C (-)	G (-)	ρ (kg/m^3)	V_D (m/s)
2.4	1.0	1.22	100

4.2　防護ネット仕様

(1)　ネット仕様

ネット仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　ネット仕様

項目	記号	仕様	備考
ネット材料	-	硬鋼線材 (JIS G 3548)	—
ネット目合い寸法	-	40 mm	電中研報告書
ネット 1 目合いの対角寸法	a	57 mm	
ネット 1 目合いの破断変位	a_s	13.9 mm	
ネット素線の直径	d’	4 mm	
ネット 1 目合いの破断荷重	F_1	17.2 kN	
ネット 1 目合いの等価剛性	K	1239 kN/m	
衝突箇所周辺の ネット 1 枚当たりの目合い数	n_1	20 個	
ネットの素線の引張強度	σ’	1400 MPa	
破断時たわみ角	θ_{max}	36.4 deg	
ネットの単位面積当たりの質量	m_N	5.7 kg/m^2	メーカ標準値
ネットの充実率	ϕ	0.44(3 枚*2)	計算値*1

注記　＊1：$\phi = 1 - ($（ネット目合い寸法）^{2}／（ネット目合い寸法＋ネット素線直径）$^2)^n$

＊2：補助金網を含む

(2) 防護ネット構成

a. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設の防護ネットの構成を表 4-4 に示す。

表 4-4 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設の防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)			ネット枚数
	L_x	×	L_y	
1	4.100	×	2.585	2 枚（1 枚）
2	3.680	×	3.130	2 枚（1 枚）
3	5.030	×	2.447	2 枚（1 枚）
4	5.030	×	2.720	2 枚（1 枚）
5	4.947	×	2.998	2 枚（1 枚）
6	4.947	×	2.420	2 枚（1 枚）

（ ）内は補助金網

b. 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の防護ネットの構成を表 4-5 に示す。

表 4-5 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)			ネット枚数
	L_x	×	L_y	
1	2.880	×	2.380	2 枚（1 枚）
2	3.055	×	2.380	2 枚（1 枚）
3	3.130	×	2.880	2 枚（1 枚）
4	3.130	×	3.055	2 枚（1 枚）
5	3.160	×	2.880	2 枚（1 枚）
6	3.160	×	3.055	2 枚（1 枚）
7	5.230	×	2.880	2 枚（1 枚）
8	5.230	×	3.055	2 枚（1 枚）

（ ）内は補助金網

c. 海水ポンプエリア防護対策施設

海水ポンプエリア防護対策施設の防護ネットの構成を表 4-6 に示す。

表 4-6 海水ポンプエリア防護対策施設の防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)			ネット枚数
	L_x	×	L_y	
1	3.865	×	3.020	2 枚（1 枚）
2	3.865	×	3.070	2 枚（1 枚）
3	3.490	×	3.020	2 枚（1 枚）
4	3.490	×	3.070	2 枚（1 枚）
5	3.570	×	3.020	2 枚（1 枚）
6	3.570	×	3.070	2 枚（1 枚）
7	4.780	×	3.460	2 枚（1 枚）
8	4.780	×	3.570	2 枚（1 枚）
9	3.320	×	3.125	2 枚（1 枚）
10	3.520	×	3.125	2 枚（1 枚）

（ ）内は補助金網

d. 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の防護ネットの構成を表 4-7 に示す。

表 4-7 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)			ネット枚数
	L_x	×	L_y	
1	3.658	×	2.844	2 枚（1 枚）

（ ）内は補助金網

e. 使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の防護ネットの構成を表 4-8 に示す。

表 4-8　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)			ネット枚数
	L_x	×	L_y	
1	3.430	×	2.673	2 枚（1 枚）

（　）内は補助金網

(3)　ワイヤロープ

ワイヤロープの仕様を表 4-9 に示す。

表 4-9　ワイヤロープの仕様

評価対象部位	仕様	径	破断荷重 F_2 (kN)	ワイヤグリップ効率 C_c (－)	許容限界 (kN)
ワイヤロープ	7×7	φ16	165*1	0.8*2	132

注記　＊1：ＪＩＳ　Ｇ　３５４９の破断荷重

＊2：ＪＩＳ　Ｂ　２８０９及び（社）　日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

(4)　接続冶具（支持部）

a．ターンバックル

ターンバックルの仕様を表 4-10 に示す。

表 4-10　ターンバックルの仕様

（単位：kN）

評価対象部位	規格値 F_3	許容限界
ターンバックル	86.8	130

b．シャックル

シャックルの仕様を表 4-11 に示す。

表 4-11　シャックルの仕様

（単位：kN）

評価対象部位	規格値 F_4	許容限界
シャックル	78.4	156*

注記　＊：試験結果に基づくメーカ保証値

(5) 接続治具（支持部）

a. 隅角部固定ボルト

隅角部固定ボルトの評価条件を表 4-12 に示す。

表 4-12　隅角部固定ボルトの評価条件

評価対象部位	ボルト径	材質	ボルト本数 n_2
隅角部固定ボルト	M27	SCM435	3

b. 取付けプレート

取付けプレートの評価条件を表 4-13 に示す。

表 4-13　取付けプレートの評価条件

評価対象部位	取付けプレート 母材	プレート長さ		面取り長さ L (mm)	溶接脚長 S_w (mm)
		L_{p1} (mm)	L_{p2} (mm)		
取付けプレート	SM490A	90	100	30	7

5. 強度評価結果

5.1 吸収エネルギ評価

竜巻発生時のネットに作用する全外力エネルギを表 5-1～表 5-5 に示す。

全ての防護ネットにおいて，作用する全外力エネルギ(E_t)は，防護ネットの限界吸収エネルギを下回っている。

(1) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設

表 5-1 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設の吸収エネルギ評価結果

（単位：kJ）

No.	E_t	E_{max}
1	80	242
2	80	249
3	80	268
4	80	306
5	80	325
6	80	265

(2) 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

表 5-2 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の吸収エネルギ評価結果

（単位：kJ）

No.	E_t	E_{max}
1	80	156
2	80	166
3	80	199
4	80	212
5	80	199
6	80	213
7	80	332
8	80	355

(3)　海水ポンプエリア防護対策施設

表 5-3　海水ポンプエリア防護対策施設の
吸収エネルギ評価結果

（単位：kJ）

No.	E_t	E_{max}
1	80	254
2	80	263
3	80	227
4	80	235
5	80	234
6	80	242
7	80	357
8	80	367
9	80	223
10	80	239

(4)　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

表 5-4　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の
吸収エネルギ評価結果

（単位：kJ）

No.	E_t	E_{max}
1	183	230

(5)　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

表 5-5　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の
吸収エネルギ評価結果

（単位：kJ）

No.	E_t	E_{max}
1	182	200

5.2　破断評価

(1)　ネット

竜巻による設計飛来物衝突時の破断評価結果を表 5-6～表 5-10 に示す。

全ての防護ネットにおいて，飛来物による衝撃荷重（F_a’）は，防護ネットの許容荷重を下回っている。

a.　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設

表 5-6　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設の破断評価結果

（単位：kN）

No.	F_a’	許容限界
1	231	1032
2	258	1032
3	195	1032
4	201	1032
5	207	1032
6	198	1032

b.　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

表 5-7　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の破断評価結果

（単位：kN）

No.	F_a’	許容限界
1	293	1032
2	280	1032
3	287	1032
4	293	1032
5	283	1032
6	290	1032
7	196	1032
8	201	1032

c. 海水ポンプエリア防護対策施設

表 5-8 海水ポンプエリア防護対策施設の
破断評価結果

（単位：kN）

No.	F_a'	許容限界
1	248	1032
2	251	1032
3	266	1032
4	269	1032
5	263	1032
6	263	1032
7	219	1032
8	221	1032
9	277	1032
10	266	1032

d. 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

表 5-9 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の
破断評価結果

（単位：kN）

No.	F_a'	許容限界
1	469	1032

e. 使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

表 5-10 使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の
破断評価結果

（単位：kN）

No.	F_a'	許容限界
1	478	1032

(2) ワイヤロープ

竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-11～表 5-15 に示す。ワイヤロープが負担する荷重(T_1')は，ワイヤロープの許容荷重を下回っている。

a. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設

表 5-11 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設のワイヤロープ強度評価結果

（単位：kN）

No.	T_1'	許容限界
1	72	132
2	81	132
3	63	132
4	66	132
5	69	132
6	64	132

b. 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

表 5-12 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設のワイヤロープ強度評価結果

（単位：kN）

No.	T_1'	許容限界
1	84	132
2	81	132
3	86	132
4	89	132
5	85	132
6	88	132
7	65	132
8	68	132

c.　海水ポンプエリア防護対策施設

表 5-13　海水ポンプエリア防護対策施設の
ワイヤロープ強度評価結果

（単位：kN）

No.	T_1’	許容限界
1	78	132
2	80	132
3	82	132
4	84	132
5	82	132
6	82	132
7	74	132
8	75	132
9	85	132
10	83	132

(d)　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

表 5-14　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の
ワイヤロープ強度評価結果

（単位：kN）

No.	T_1’	許容限界
1	124	132

(e)　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

表 5-15　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の
ワイヤロープ強度評価結果

（単位：kN）

No.	T_1’	許容限界
1	123	132

(3) 接続治具（固定部）

a. ターンバックル

竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-16～表 5-20 に示す。

発生荷重は，ターンバックルの許容限界を下回っている。

(a) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設

表 5-16 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設のターンバックル強度評価結果

（単位：kN）

No.	発生荷重	許容限界
1	72*	130
2	81*	130
3	63*	130
4	66*	130
5	69*	130
6	64*	130

注記 ＊：ワイヤロープ張力であるT_1’（表 5-11 参照）の値を示す。

(b) 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

表 5-17 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設のターンバックル強度評価結果

（単位：kN）

No.	発生荷重	許容限界
1	84*	130
2	81*	130
3	86*	130
4	89*	130
5	85*	130
6	88*	130
7	65*	130
8	68*	130

注記 ＊：ワイヤロープ張力であるT_1’（表 5-12 参照）の値を示す。

(c)　海水ポンプエリア防護対策施設

表 5-18　海水ポンプエリア防護対策施設の
ターンバックル強度評価結果

（単位：kN）

No.	発生荷重	許容限界
1	78*	130
2	80*	130
3	82*	130
4	84*	130
5	82*	130
6	82*	130
7	74*	130
8	75*	130
9	85*	130
10	83*	130

注記　＊：ワイヤロープ張力であるT_1’（表 5-13 参照）の値を示す。

(d)　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

表 5-19　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の
ターンバックル強度評価結果

（単位：kN）

No.	発生荷重	許容限界
1	124*	130

注記　＊：ワイヤロープ張力であるT_1’（表 5-14 参照）の値を示す。

(e)　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

表 5-20　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の
ターンバックル強度評価結果

（単位：kN）

No.	発生荷重	許容限界
1	123*	130

注記　＊：ワイヤロープ張力であるT_1’（表 5-15 参照）の値を示す。

b. シャックル

竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-21～表 5-25 に示す。

発生荷重は，シャックルの許容限界を下回っている。

(a) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設

表 5-21 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設のシャックル強度評価結果

（単位：kN）

No.	発生荷重	許容限界
1	72*	156
2	81*	156
3	63*	156
4	66*	156
5	69*	156
6	64*	156

注記 ＊：ワイヤロープ張力であるT_1’（表 5-11 参照）の値を示す。

(b) 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

表 5-22 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設のシャックル強度評価結果

（単位：kN）

No.	発生荷重	許容限界
1	84*	156
2	81*	156
3	86*	156
4	89*	156
5	85*	156
6	88*	156
7	65*	156
8	68*	156

注記 ＊：ワイヤロープ張力であるT_1’（表 5-12 参照）の値を示す。

(c) 海水ポンプエリア防護対策施設

表 5-23 海水ポンプエリア防護対策施設の
シャックル強度評価結果

(単位：kN)

No.	発生荷重	許容限界
1	78*	156
2	80*	156
3	82*	156
4	84*	156
5	82*	156
6	82*	156
7	74*	156
8	75*	156
9	85*	156
10	83*	156

注記 ＊：ワイヤロープ張力が最大であるT_1’（表 5-13 参照）の値を示す。

(d) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

表 5-24 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の
シャックル強度評価結果

(単位：kN)

No.	発生荷重	許容限界
1	124*	156

注記 ＊：ワイヤロープ張力であるT_1’（第 5-14 表参照）の値を示す。

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

表 5-25 使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の
シャックル強度評価結果

(単位：kN)

No.	発生荷重	許容限界
1	123*	156

注記 ＊：ワイヤロープ張力であるT_1’（表 5-15 参照）の値を示す。

(4) 接続冶具（固定部）

a. 隅角部固定ボルト

接続冶具（固定部）のうち，隅角部固定ボルトの竜巻による飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-26～表 5-30 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重（T_1’）による発生応力は，隅角部固定ボルトの許容限界を下回っている。

(a) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設

表 5-26 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設の
接続冶具（固定部：隅角部固定ボルト）の強度評価結果

（単位：MPa）

No.	発生応力	許容限界
1	69	375
2	78	375
3	60	375
4	63	375
5	66	375
6	61	375

(b) 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

表 5-27 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の接続用の冶具
接続冶具（固定部：隅角部固定ボルト）の強度評価結果

（単位：MPa）

No.	発生応力	許容限界
1	81	375
2	78	375
3	84	375
4	87	375
5	82	375
6	86	375
7	62	375
8	65	375

(c) 海水ポンプエリア防護対策施設

表 5-28 海水ポンプエリア防護対策施設の接続冶具
（固定部：隅角部固定ボルト）の強度評価結果

（単位：MPa）

No.	発生応力	許容限界
1	76	375
2	77	375
3	79	375
4	81	375
5	79	375
6	79	375
7	72	375
8	73	375
9	82	375
10	80	375

(d) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

表 5-29 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の接続冶具
（固定部：隅角部固定ボルト）の強度評価結果

（単位：MPa）

No.	発生応力	許容限界
1	122	375

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

表 5-30 使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の接続冶具
（固定部：隅角部固定ボルト）の強度評価結果

（単位：MPa）

No.	発生応力	許容限界
1	120	375

b. 取付けプレート溶接部

接続用の冶具のうち，取付けプレート溶接部の竜巻による飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-31～表 5-35 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重(T_1')による発生応力は，取付けプレート溶接部の許容限界を下回っている。

(a) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設

表 5-31 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設の接続冶具
(固定部：取付けプレート溶接部)の強度評価結果

(単位：MPa)

No.	発生応力	許容限界
1	73	181
2	82	181
3	64	181
4	67	181
5	70	181
6	65	181

(b) 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

表 5-32 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の接続冶具（固定部：取付けプレート溶接部)の強度評価結果

(単位：MPa)

No.	発生応力	許容限界
1	85	181
2	82	181
3	87	181
4	90	181
5	86	181
6	89	181
7	66	181
8	69	181

(c) 海水ポンプエリア防護対策施設

表 5-33 海水ポンプエリア防護対策施設の接続冶具（固定部：取付けプレート溶接部）の強度評価結果

（単位：MPa）

No.	発生応力	許容限界
1	79	181
2	81	181
3	83	181
4	85	181
5	83	181
6	83	181
7	75	181
8	76	181
9	86	181
10	84	181

(d) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

表 5-34 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の接続冶具（固定部：取付けプレート溶接部）の強度評価結果

（単位：MPa）

No.	発生応力	許容限界
1	125	181

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

表 5-35 使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の接続冶具（固定部：取付けプレート溶接部）の強度評価結果

（単位：MPa）

No.	発生応力	許容限界
1	124	181

5.3　たわみ評価

竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表5-36～表5-40に示す。

全ての防護ネットにおいて，防護ネットへの飛来物衝突による防護ネット全体のたわみ量（δ_t）は，防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離（L_{min}）を下回っている。

(1)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設

表 5-36　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設のたわみ評価結果

（単位：m）

No.	最大たわみ量 δ_t	最少離隔距離 L_{min}
1	1.36	1.89
2	1.28	
3	1.57	1.70
4	1.55	
5	1.53	1.90
6	1.55	

(2)　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

表 5-37　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設のたわみ評価結果

（単位：m）

No.	最大たわみ量 δ_t	最少離隔距離 L_{min}
1	1.09	1.58
2	1.13	
3	1.15	—*1
4	1.15	
5	1.16	1.58
6	1.16	
7	1.60*2	
8	1.58*2	

注記　＊1：当該ネットの直下には外部事象防護対象施設は無い。

＊2：本数値は外部事象防護対象施設が存在する領域におけるたわみ量を示す。外部事象防護対象施設が存在する領域と最大たわみ点の関係は図 5-1 のとおりであり，外部事象防護対象施設が存在する領域のたわみは，最大たわみ(No.7：1.60m，No.8：1.58m)に比べ小さいため，ネットが外部事象防護対象施設に接触することはない。

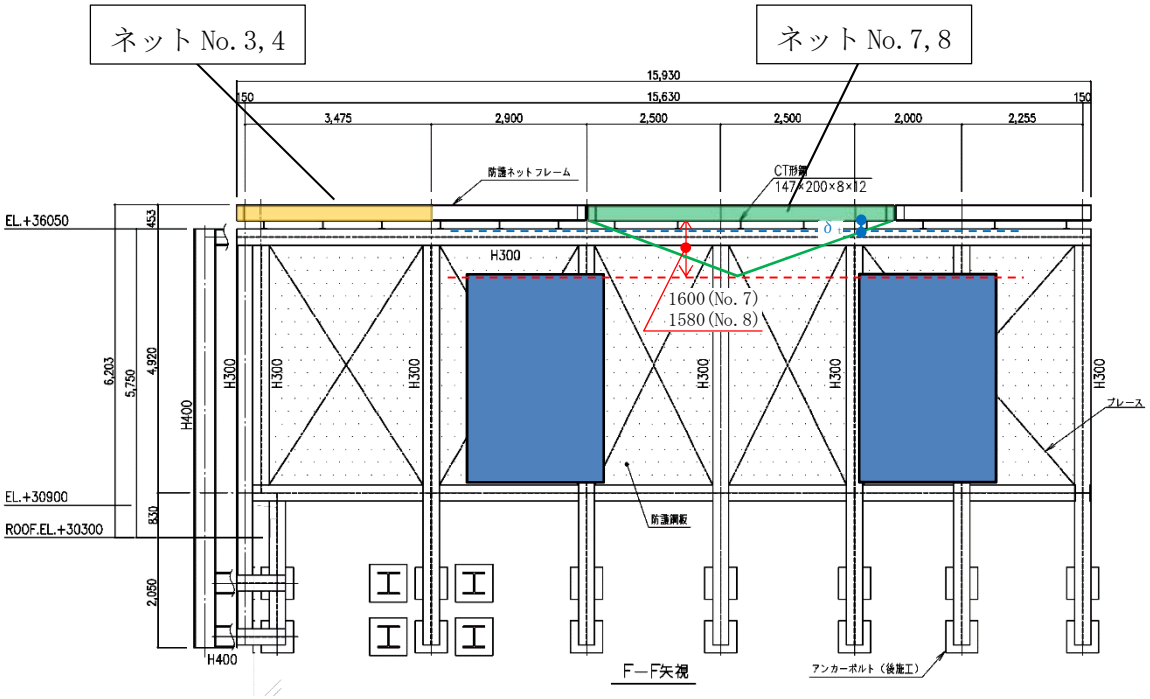


図 5－1　ネット（No. 7, 8）と外部事象防護対象施設の位置関係

(3)　海水ポンプエリア防護対策施設

表 5-38　海水ポンプエリア防護対策施設のたわみ評価結果

（単位：m）

No.	最大たわみ量 δ_t	最少離隔距離 L_{min}
1	1.31	2.29
2	1.31	
3	1.23	
4	1.24	
5	1.25	
6	1.25	
7	1.50	
8	1.50	
9	1.20	
10	1.25	

(4)　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

表 5-39　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設のたわみ評価結果

（単位：m）

No.	最大たわみ量 δ_t	最少離隔距離 L_{min}
1	1.55	2.04

(5)　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

表 5-40　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設のたわみ評価結果

（単位：m）

No.	最大たわみ量 δ_t	最少離隔距離 L_{min}
1	1.50	1.88

Ⅴ-3-別添 1-2-1-2　防護鋼板の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 22
2.4 適用規格 23
3. 強度評価方法 24
3.1 記号の定義 24
3.2 評価対象部位 24
3.2.1 衝突評価 24
3.2.2 裏面取付鋼板ボルト評価 25
3.3 荷重及び荷重の組合せ 25
3.4 許容限界 27
3.5 評価方法 28
3.5.1 貫通評価及び変形評価 28
3.5.2 裏面取付鋼板ボルト評価 31
4. 評価条件 31
5. 強度評価結果 33

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり，防護対策施設である非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設，海水ポンプエリア防護対策施設，原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設，中央制御室換気系開口部防護対策施設，原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設及び原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設の防護鋼板が，設置（変更）許可申請において示す設計飛来物（以下「飛来物」という。）の衝突に加え，風圧力に対し，竜巻時及び竜巻通過後においても外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させず，また，機械的な波及的影響を与えず，外部事象防護対象施設の安全機能維持を考慮して，防護鋼板が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」を踏まえ，防護鋼板の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

防護鋼板は，原子炉建屋（原子炉棟外壁，付属棟屋上及び付属棟外壁）並びに海水ポンプ室周りに設置する。

防護鋼板の設置位置図を図 2-1 に示す。

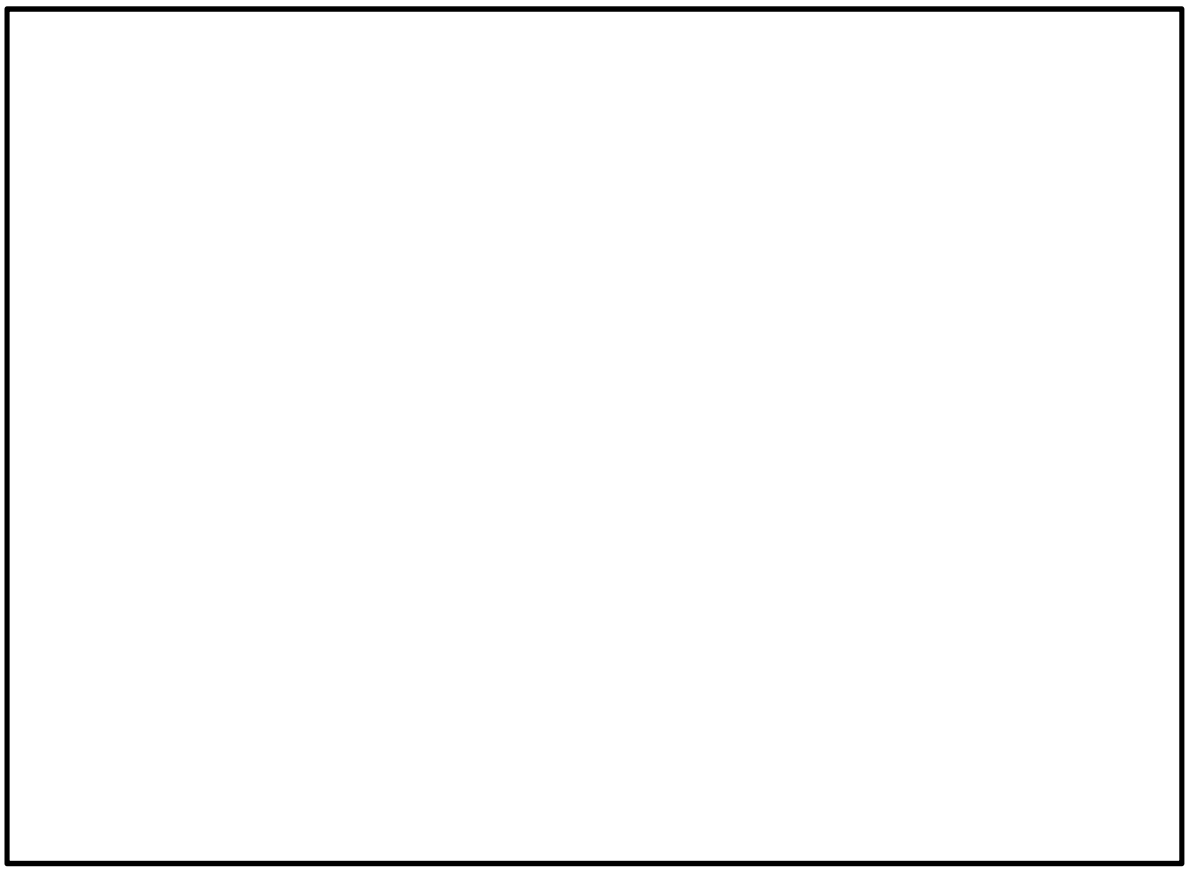


図 2-1　防護鋼板の設置位置図

NT2 補② Ⅴ-3－別添 1-2-1-2 R10

2.2　構造概要

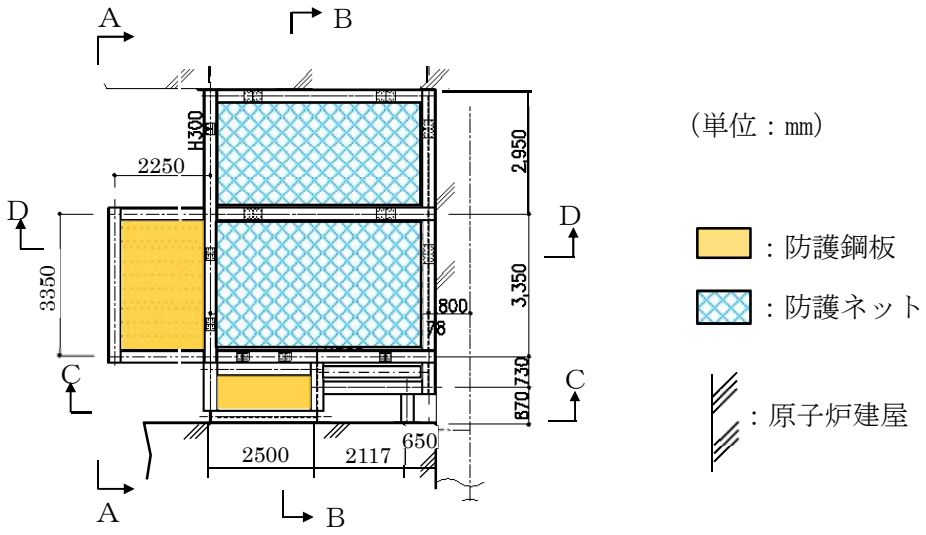
防護鋼板の構造は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「3.2　防護鋼板の構造設計」に示す構造計画を踏まえて設定する。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設，海水ポンプエリア防護対策施設，中央制御室換気系開口部防護対策施設，原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設，原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設及び原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設の防護鋼板は，鋼板で構成する鋼製構造物である。

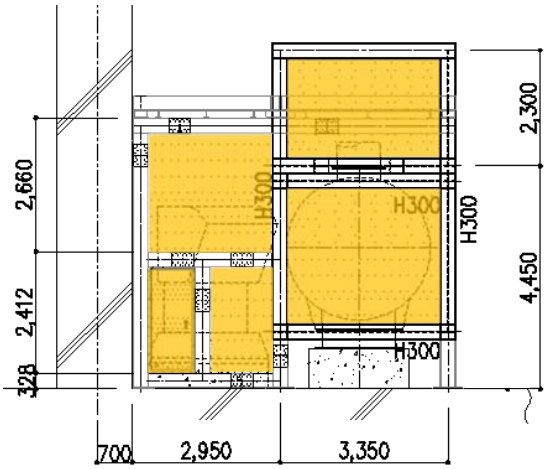
(1)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板は，当該防護対策施設の架構に取り付けられ施設の外殻となる。

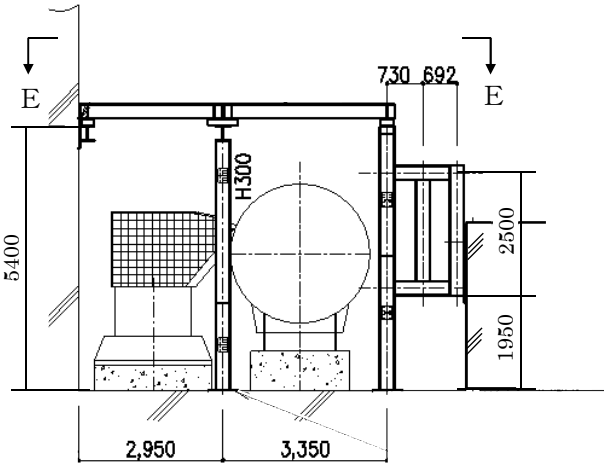
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板の構造図を図 2-2～図 2-4 に示す。



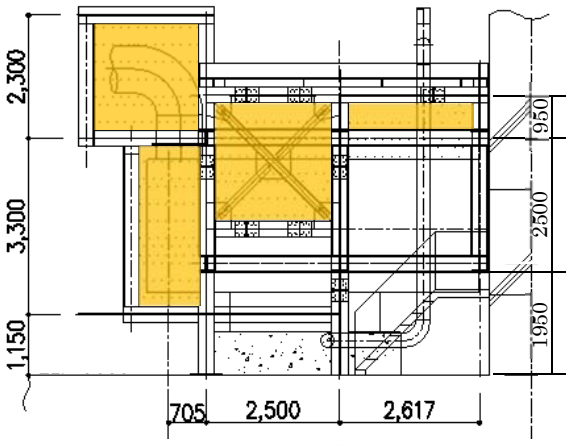
平面図（Ｅ－Ｅ矢視）



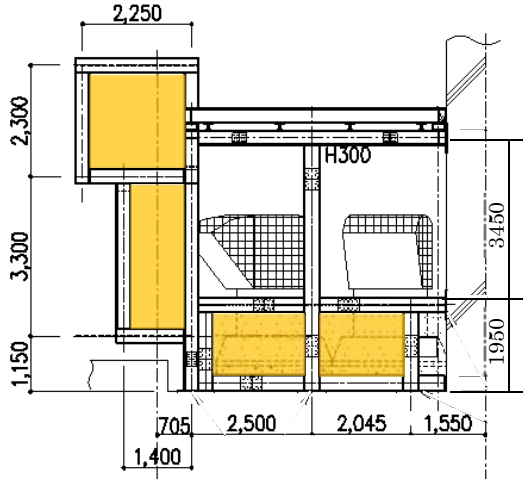
側面図（Ａ－Ａ矢視）



側面図（Ｂ－Ｂ矢視）

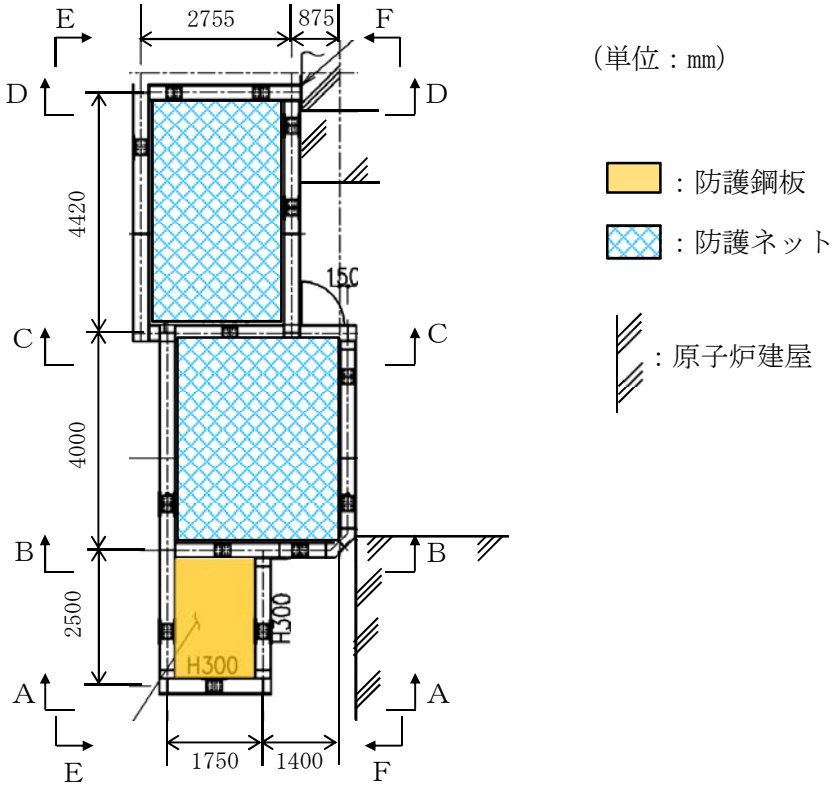


側面図（Ｃ－Ｃ矢視）

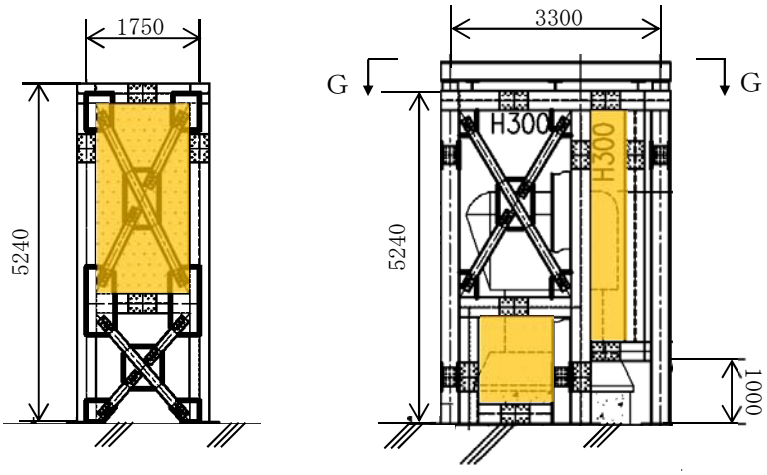


側面図（Ｄ－Ｄ矢視）

図 2-2　２Ｃ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板の構造図

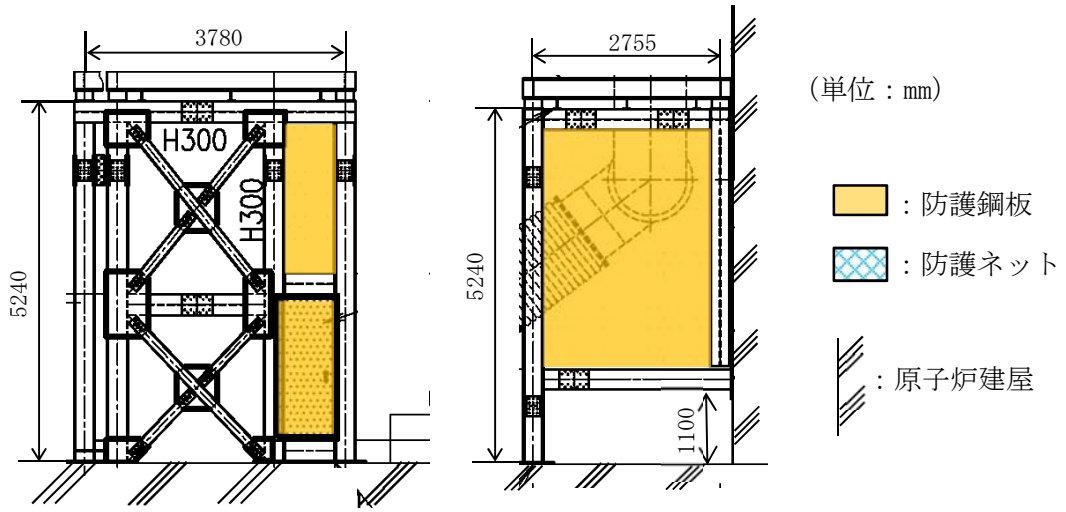


平面図（G－G矢視）

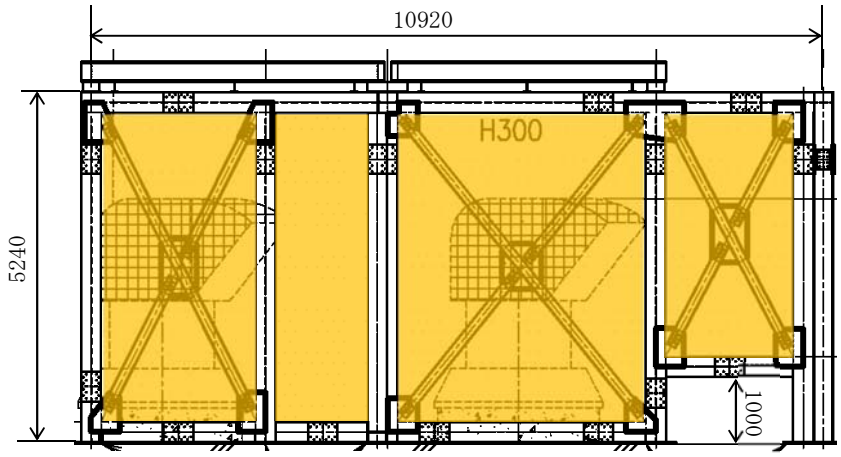


側面図（A－A矢視）　　側面図（B－B矢視）

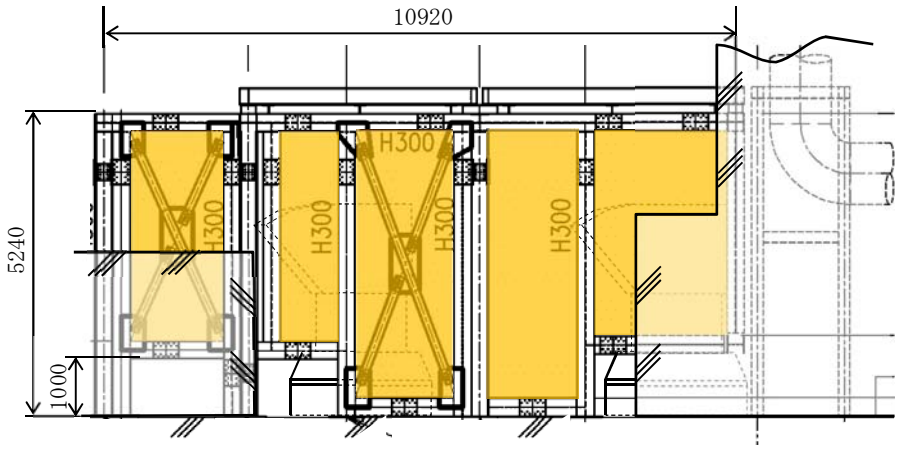
図 2-3　２D非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板の構造図(1/2)



側面図（Ｃ－Ｃ矢視）　側面図（Ｄ－Ｄ矢視）

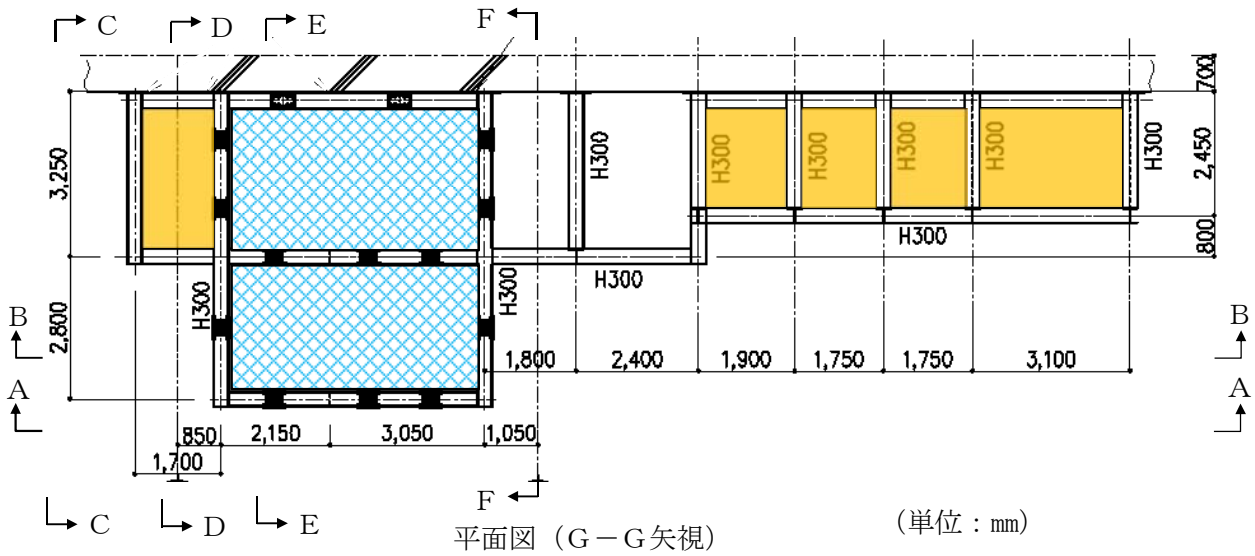


側面図（Ｅ－Ｅ矢視）

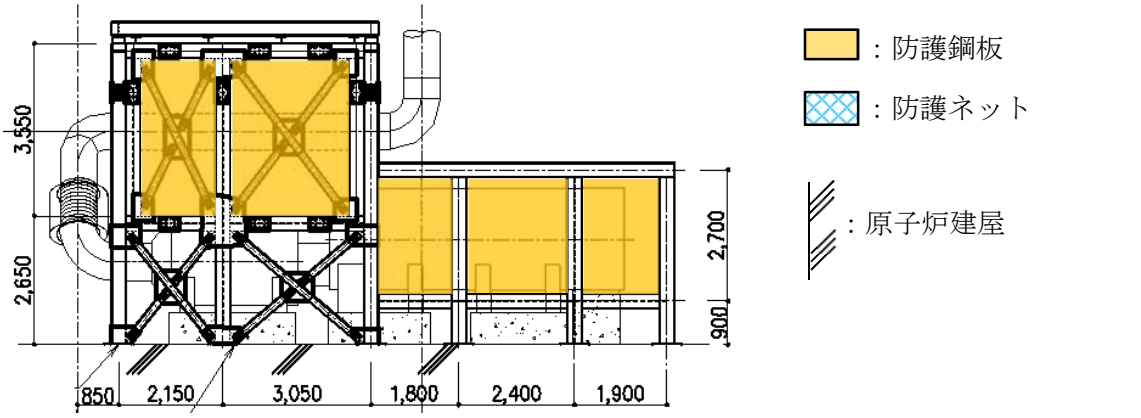


側面図（Ｆ－Ｆ矢視）

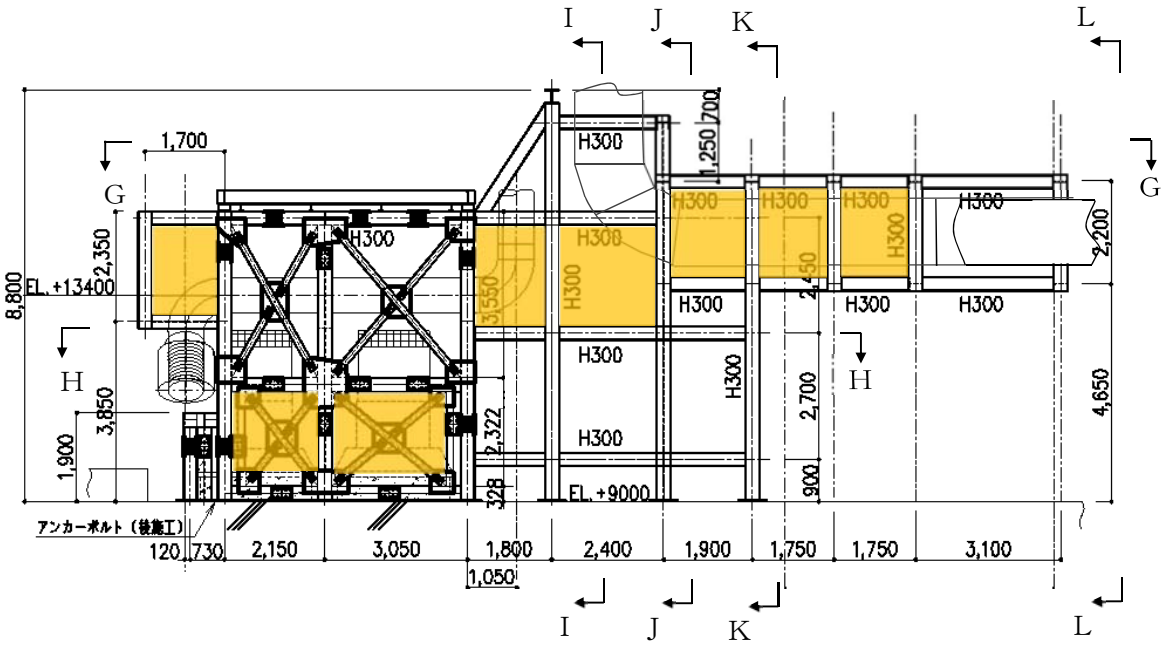
図 2-3　２Ｄ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板の構造図(2/2)



平面図（G－G矢視）　（単位：mm）



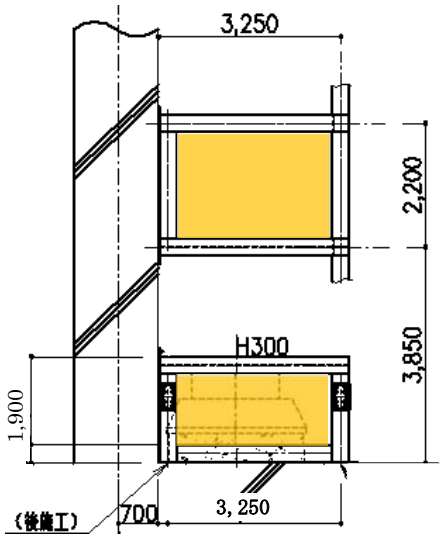
側面図（A－A矢視）



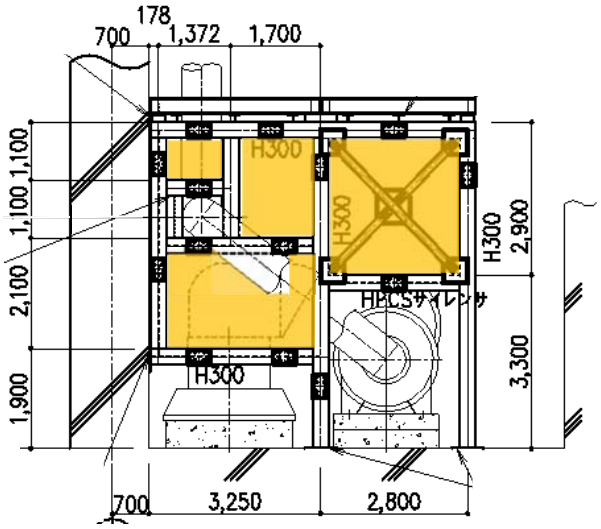
側面図（B－B矢視）

図 2-4　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板の構造図

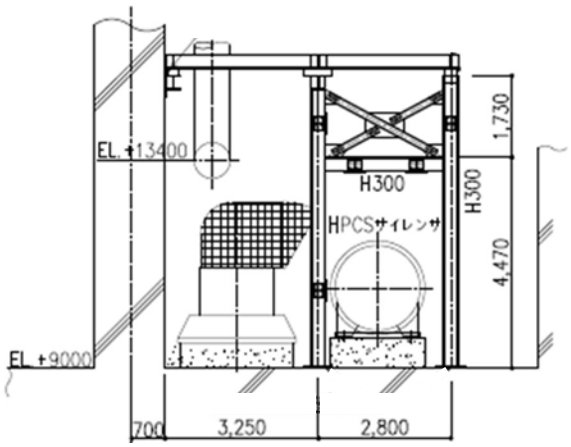
(1/3)



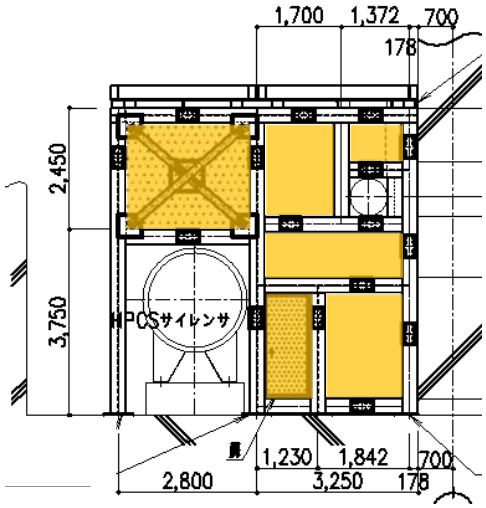
側面図（Ｃ－Ｃ矢視）



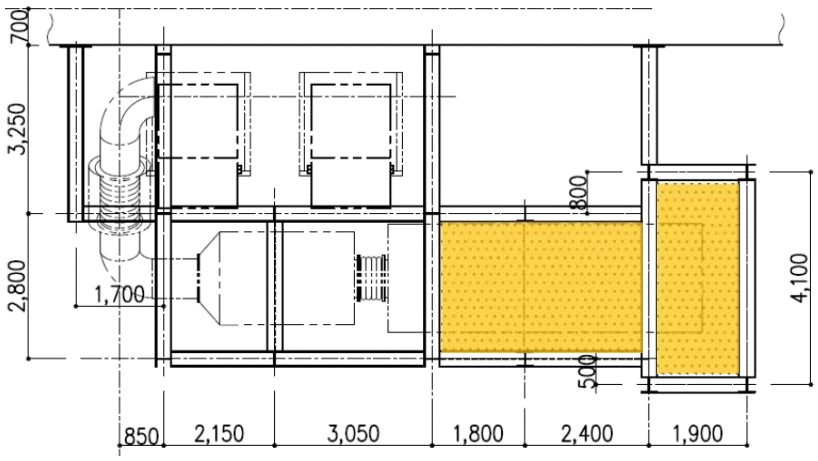
側面図（Ｄ－Ｄ矢視）



側面図（Ｅ－Ｅ矢視）



側面図（Ｆ－Ｆ矢視）



側面図（Ｈ－Ｈ矢視）

（単位：mm）

：防護鋼板

：防護ネット

：原子炉建屋

図 2-4　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板の構造図
(2/3)

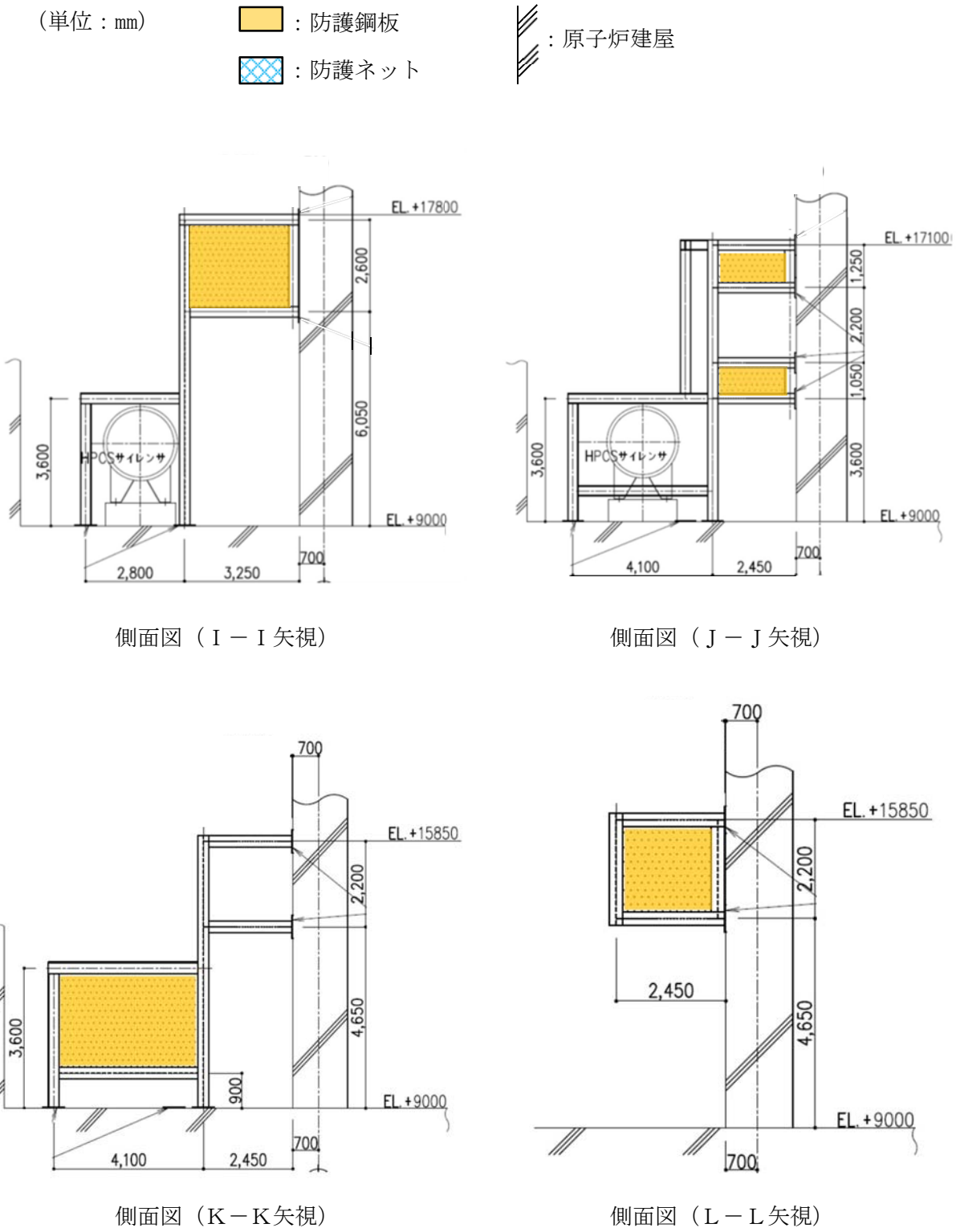


図 2-4　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板の構造図
(3/3)

(2)　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設防護鋼板

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設防護鋼板は，当該防護対策施設の架構に取り付けられ施設の外殻となる。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設防護鋼板の構造図を図 2-5 に示す。

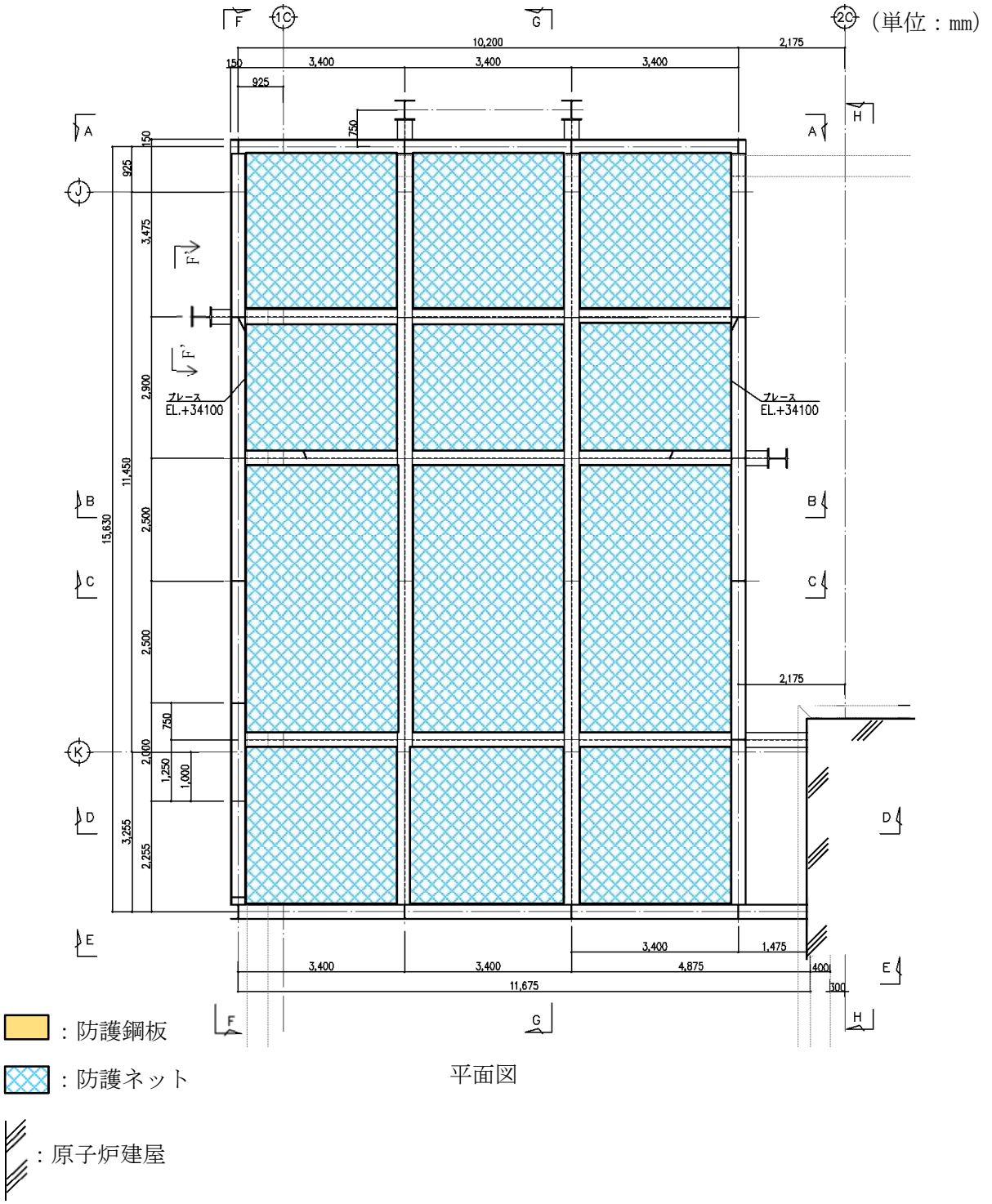
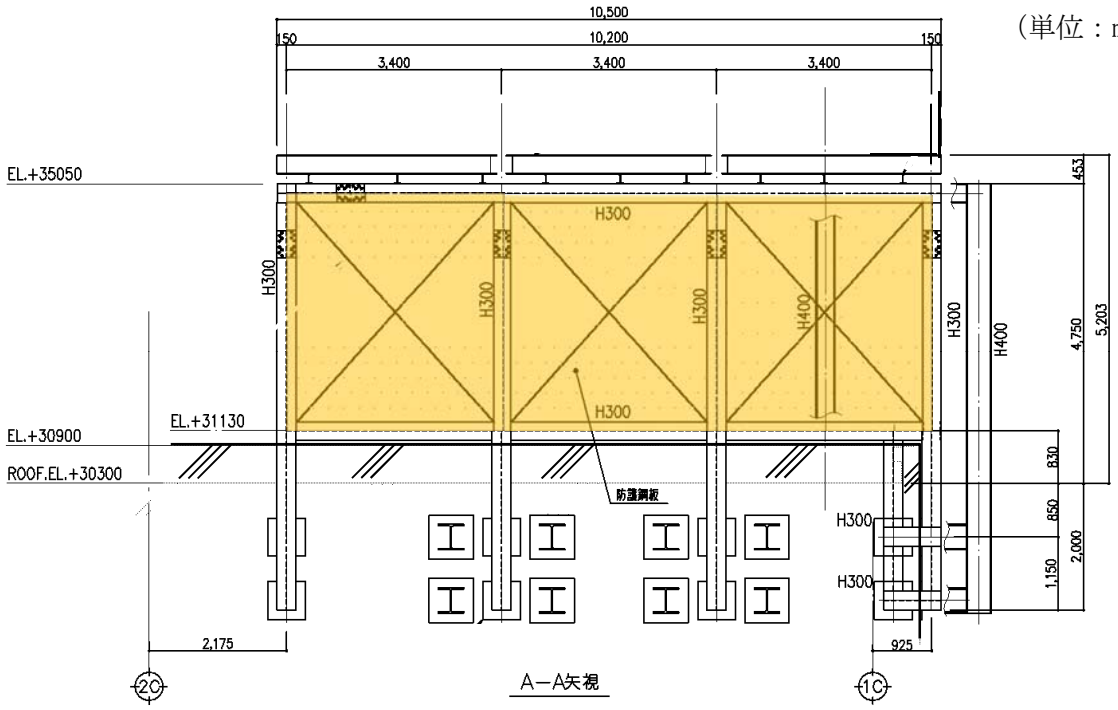


図 2-5　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設防護鋼板の構造図(1/6)

（単位：mm）



：防護鋼板

：防護ネット

：原子炉建屋

図 2-5　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設防護鋼板の構造図(2/6)

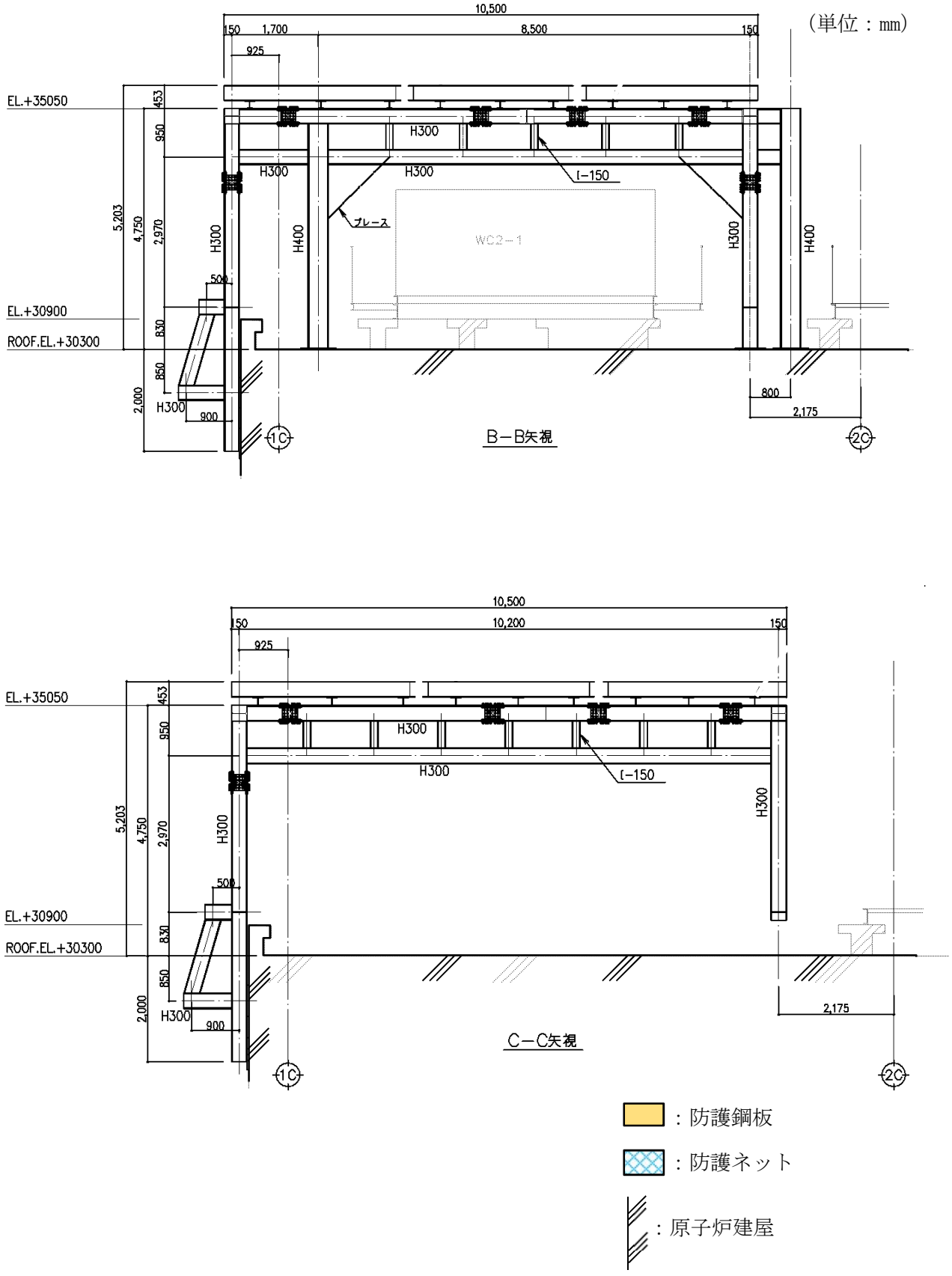


図 2-5　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設防護鋼板の構造図(3/6)

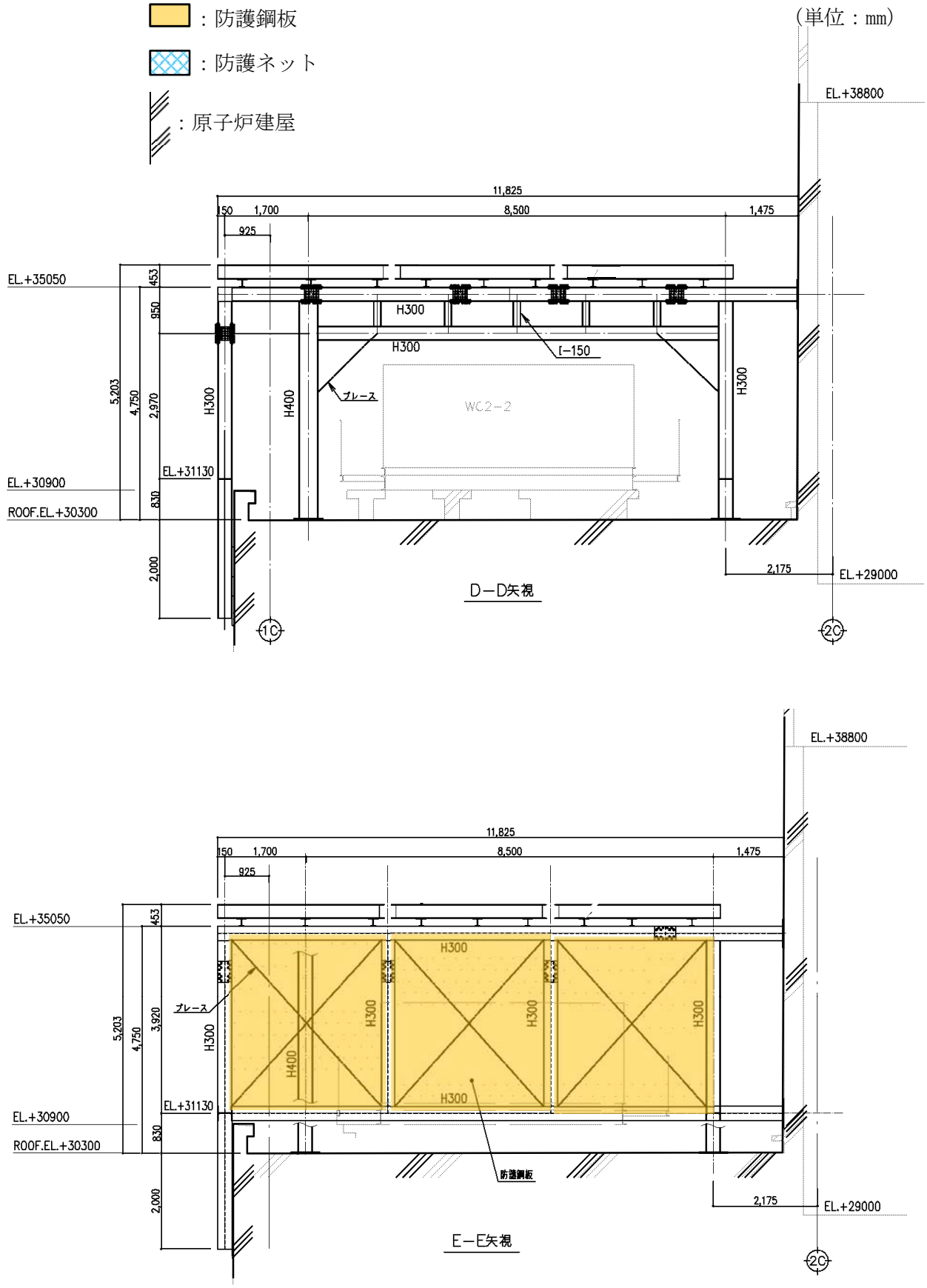
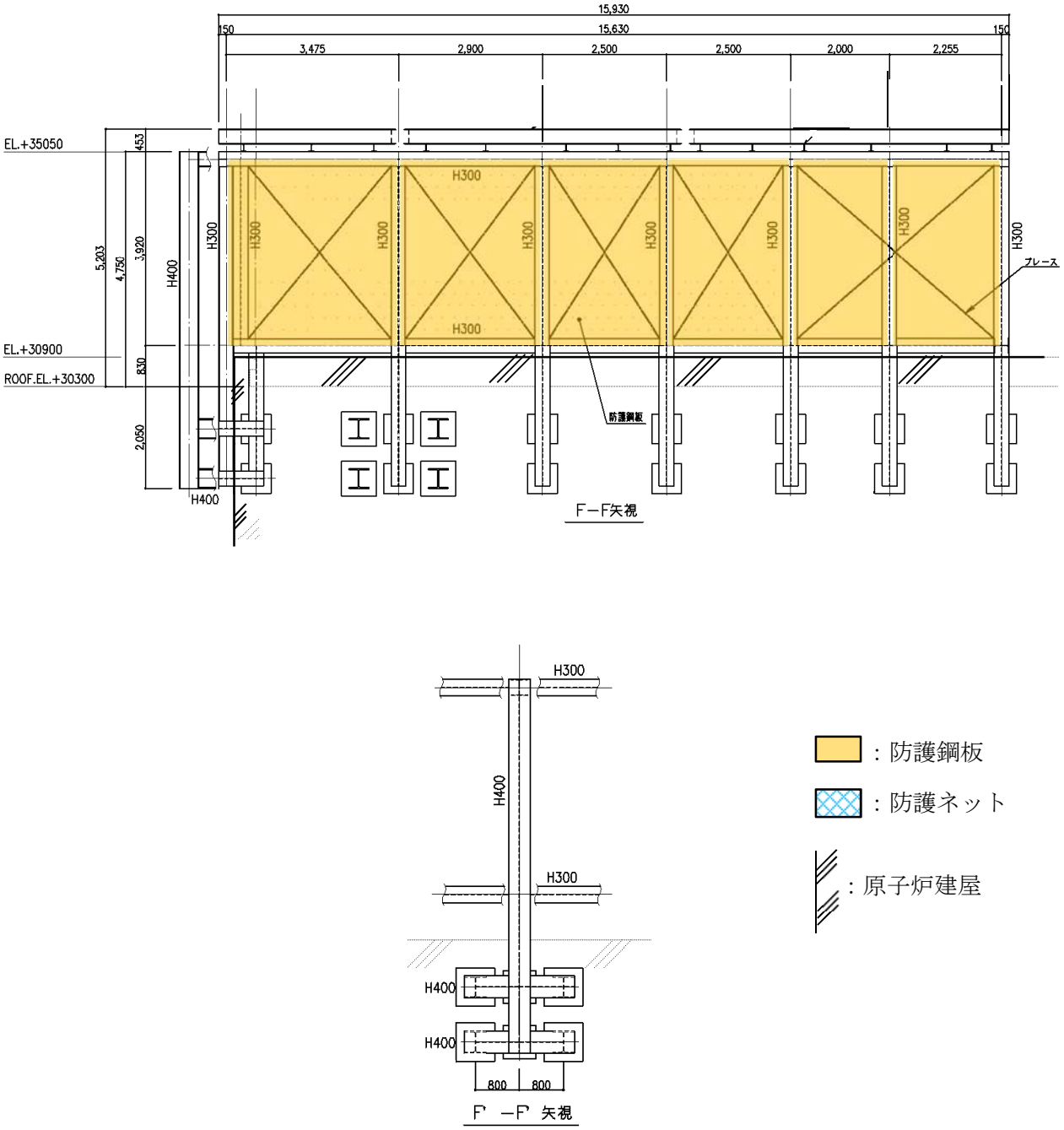


図 2-5　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設防護鋼板の構造図(4/6)

（単位：mm）


15,930
150
15,630
150
3,475
2,900
2,500
2,500
2,000
2,255
EL.+35050
EL.+30900
ROOF.EL.+30300
453
3,920
4,750
5,203
830
2,050
H400
H300
H300
H300

（単位：mm）

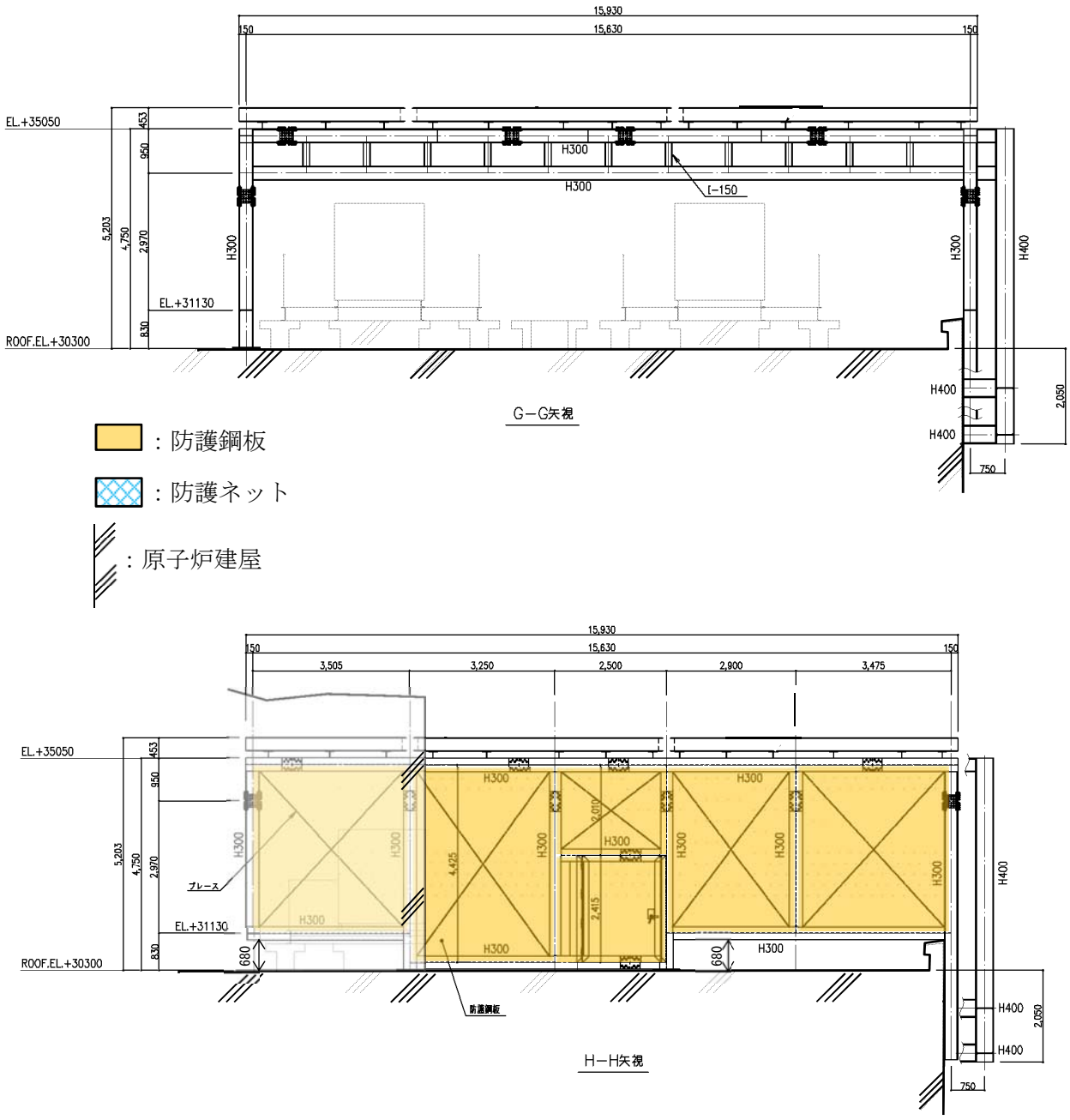


図 2-5　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設防護鋼板の構造図(6/6)

(3)　海水ポンプエリア防護対策施設防護鋼板

海水ポンプエリア防護対策施設防護鋼板は，当該防護対策施設の架構に取り付けられ施設の外殻となる。

海水ポンプエリア防護対策施設防護鋼板の構造図を図 2-6 に示す。

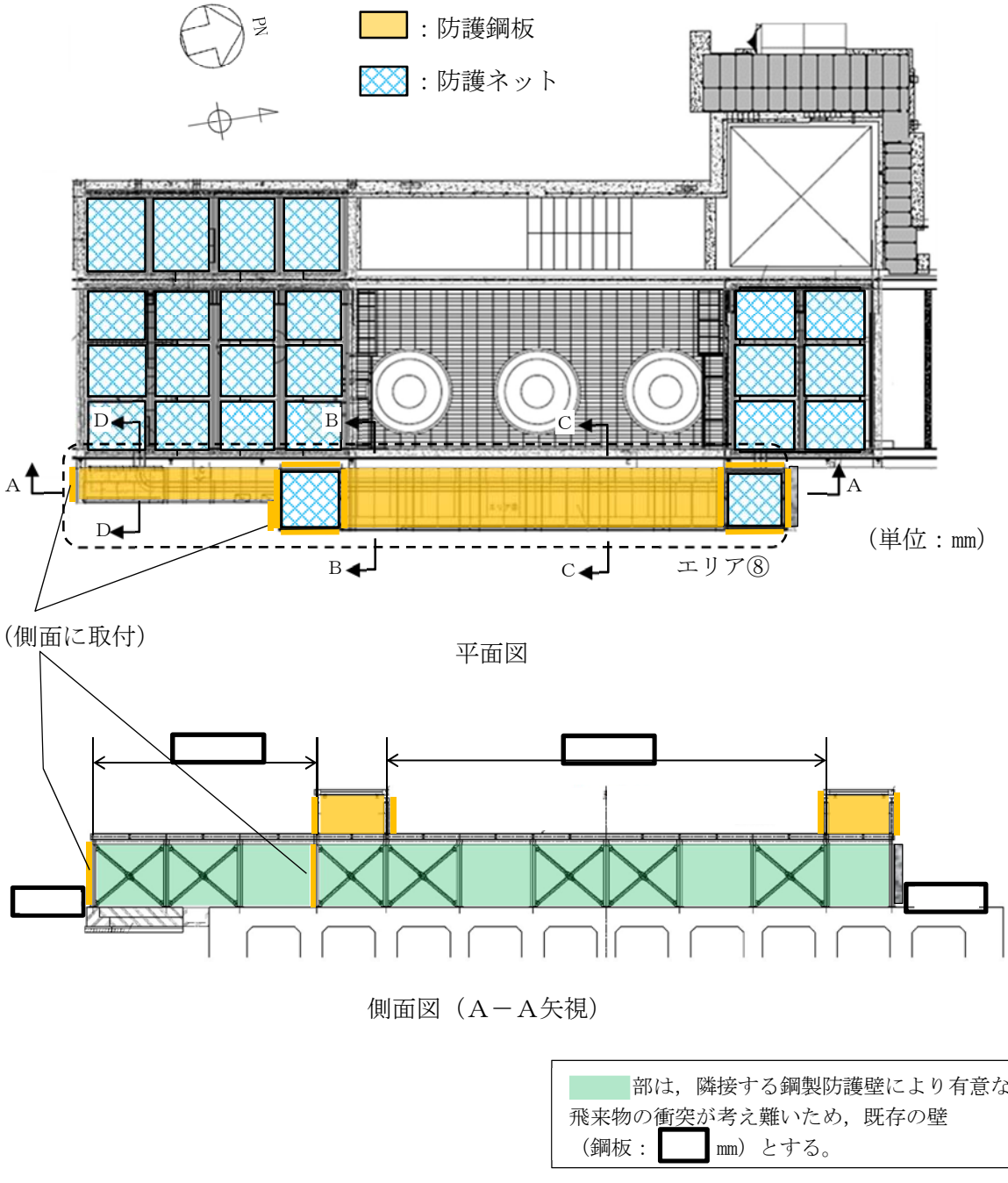


図 2-6　海水ポンプエリア防護対策施設防護鋼板の構造図(1/3)

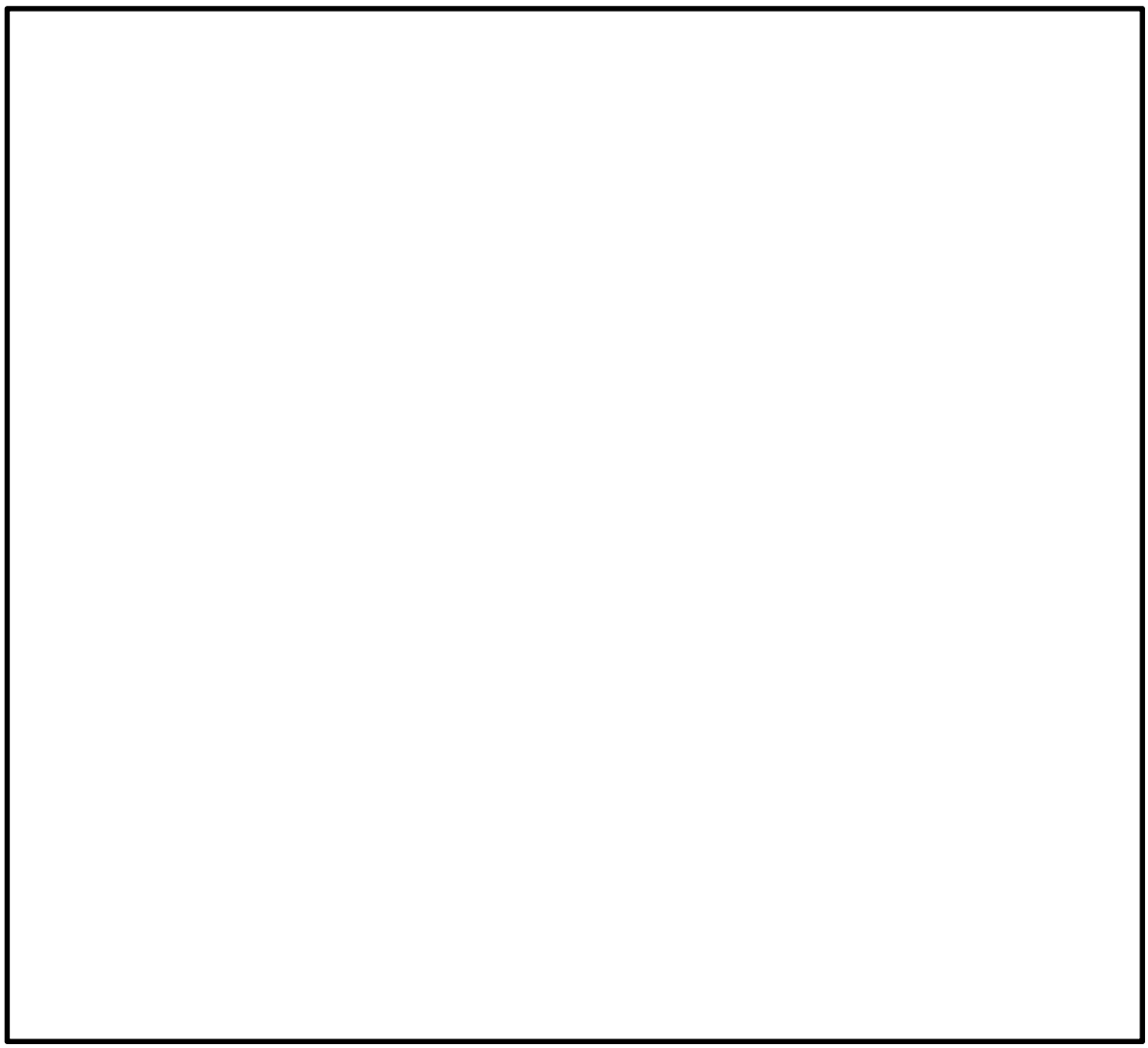
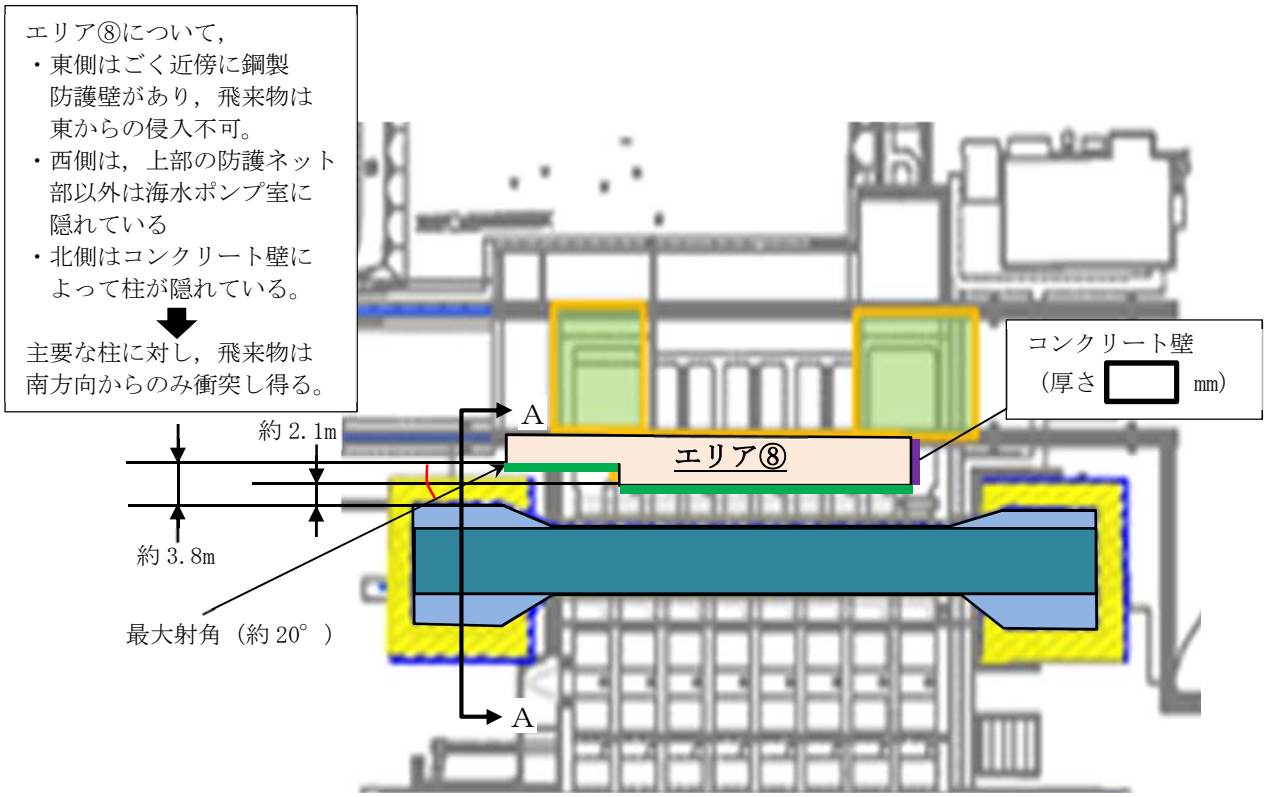


図 2-6　海水ポンプエリア防護対策施設防護鋼板の構造図(2/3)

＜エリア⑧東面への飛来物衝突方向について＞



（単位：mm）

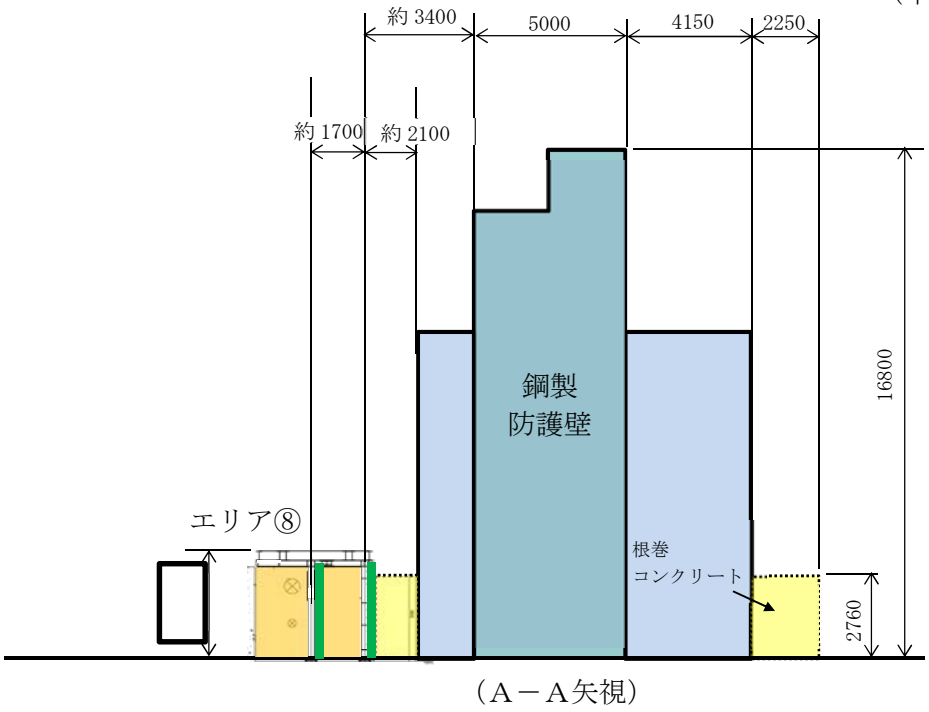


図 2-6　海水ポンプエリア防護対策施設防護鋼板の構造図(3/3)

(4)　中央制御室換気系開口部防護対策施設防護鋼板

中央制御室換気系開口部防護対策施設防護鋼板は，当該防護対策施設の架構に取り付けられ施設の外殻となる。

中央制御室換気系開口部防護対策施設防護鋼板の構造図を図 2-7 に示す。

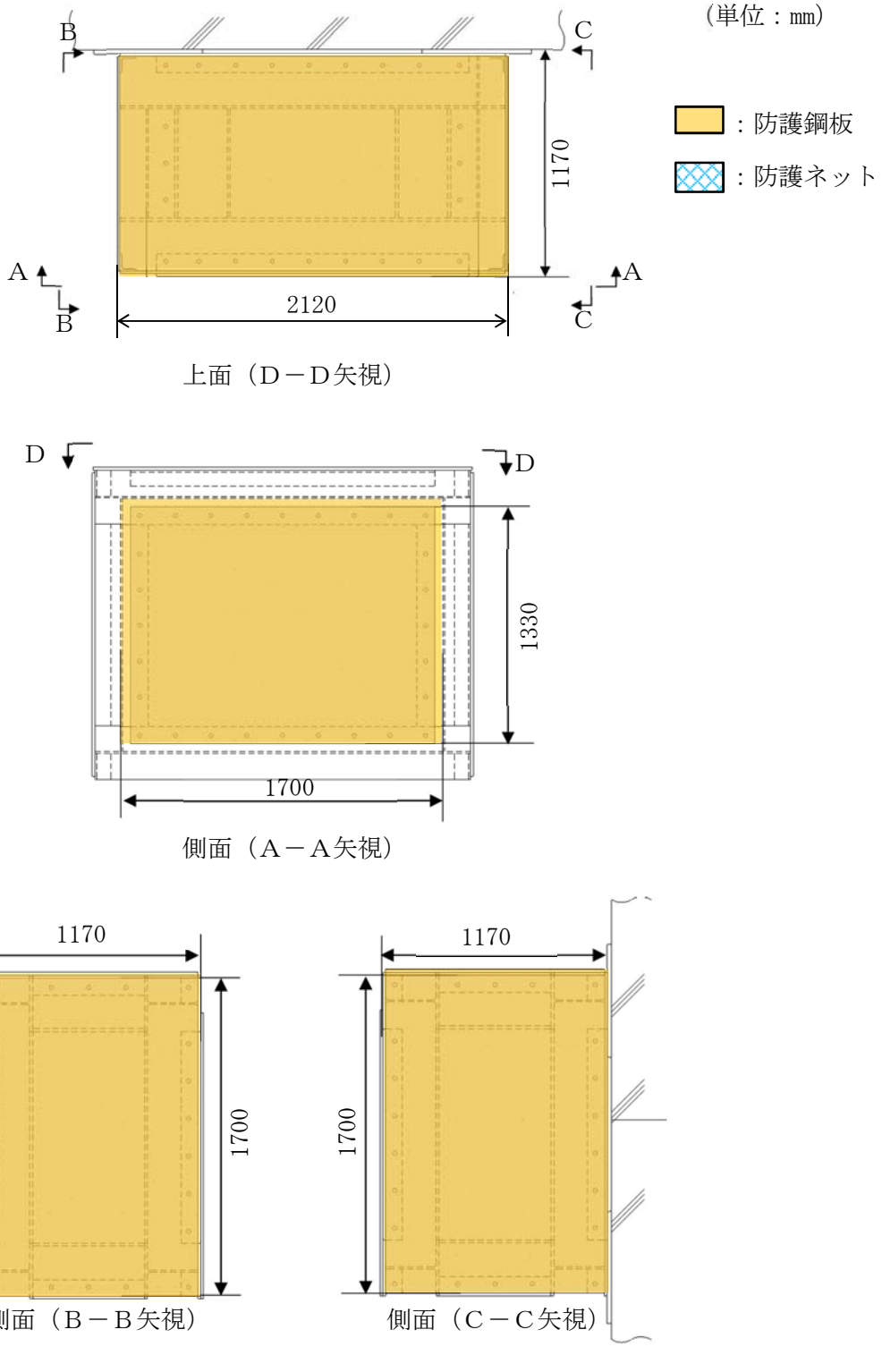


図 2-7　中央制御室換気系開口部防護対策施設防護鋼板の構造図

(5)　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設防護鋼板

原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設防護鋼板は，当該防護対策施設の架構に取り付けられ施設の外殻となる。

原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設防護鋼板の構造図を図 2-8 に示す。

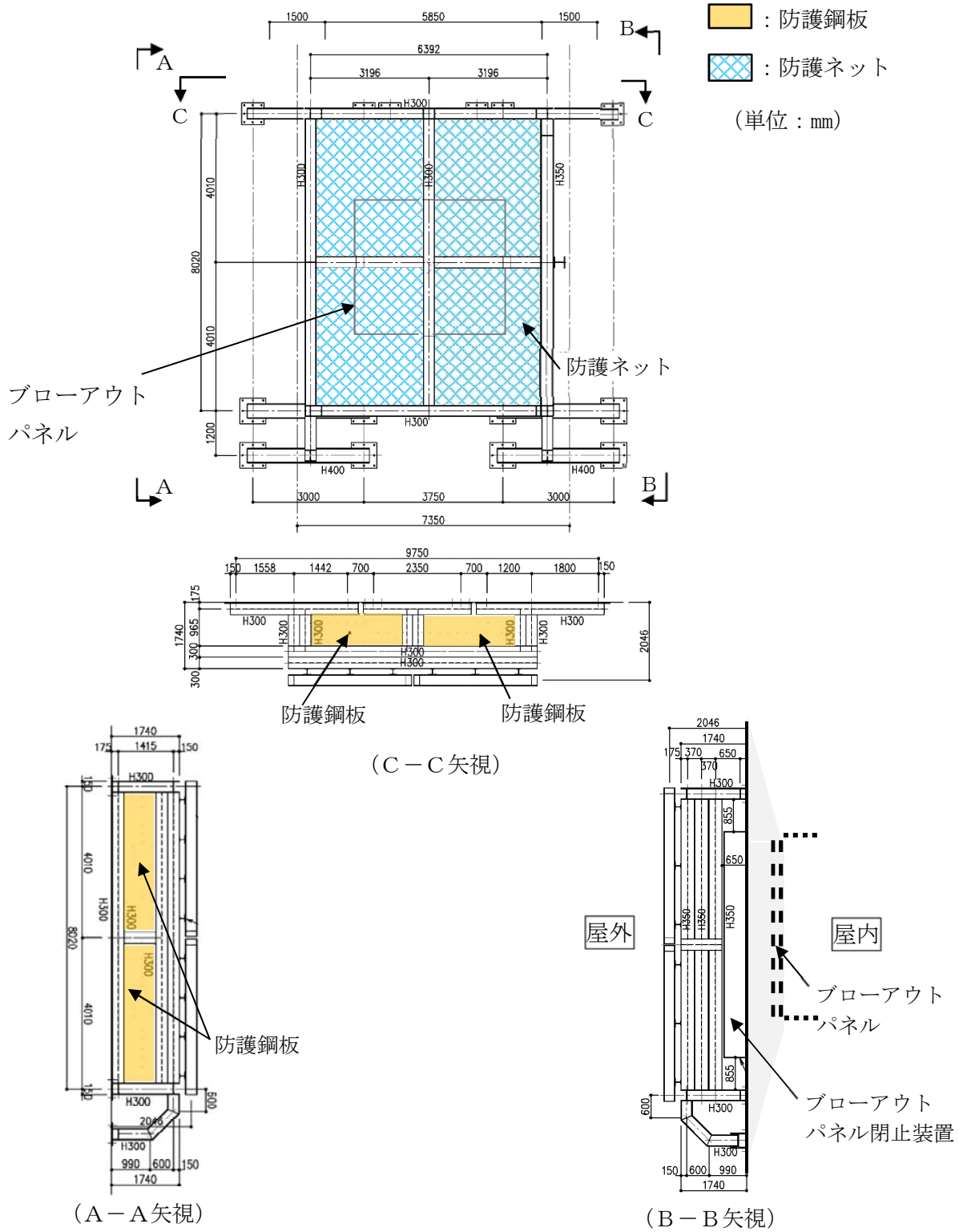
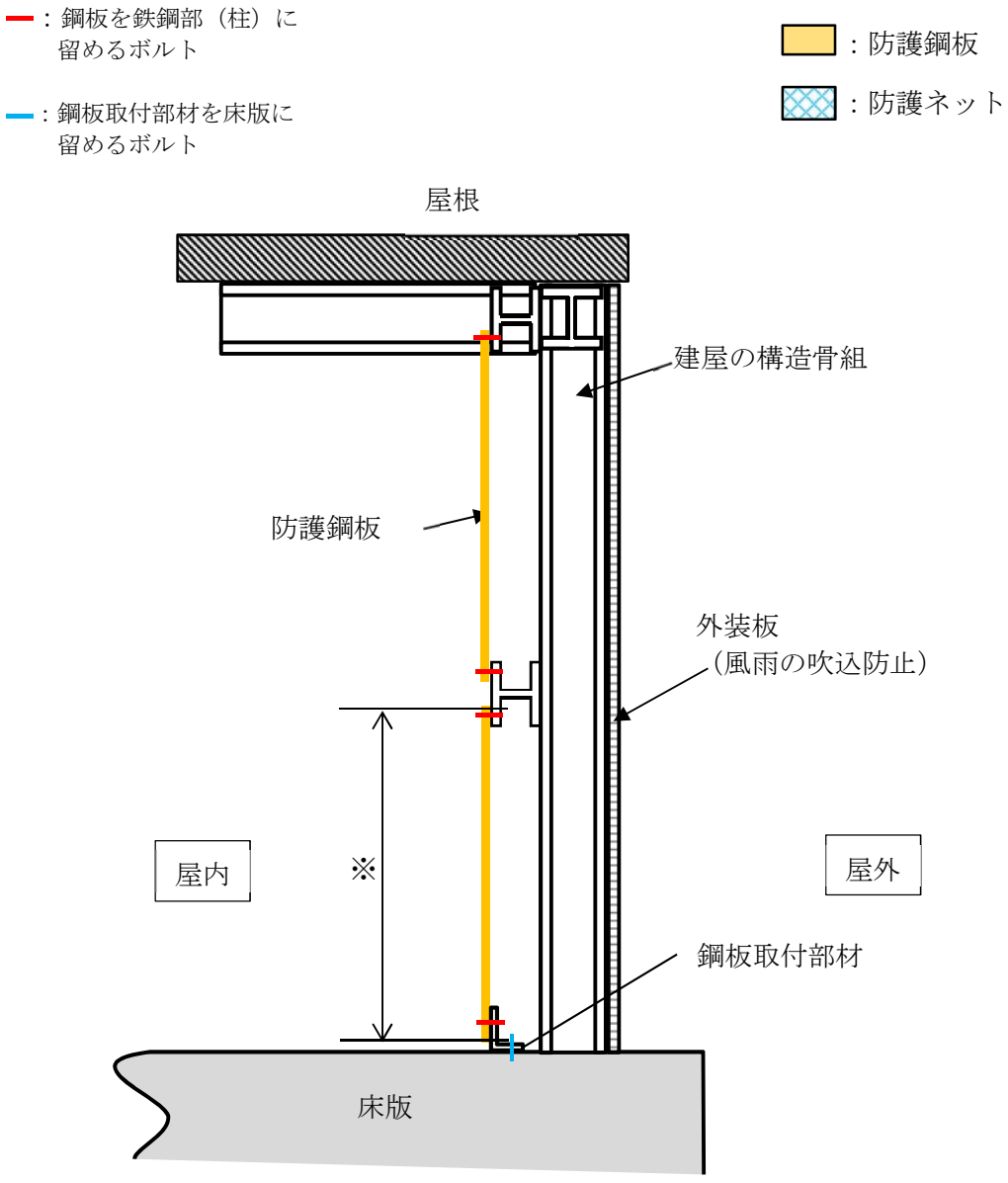


図 2-8　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設防護鋼板の構造図

(6)　原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板

原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板は，建屋の構造骨組に取り付けられ，施設の外殻となる。

原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板の構造図を図 2-9 に示す。



※：貫通評価で健全性が確認された最小寸法以上

図 2-9　原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板の構造図

(7)　原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板

原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板は，当該防護対策施設の架構に取り付けられ施設の外殻となる。

原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板の構造図を図 2-10 に示す。

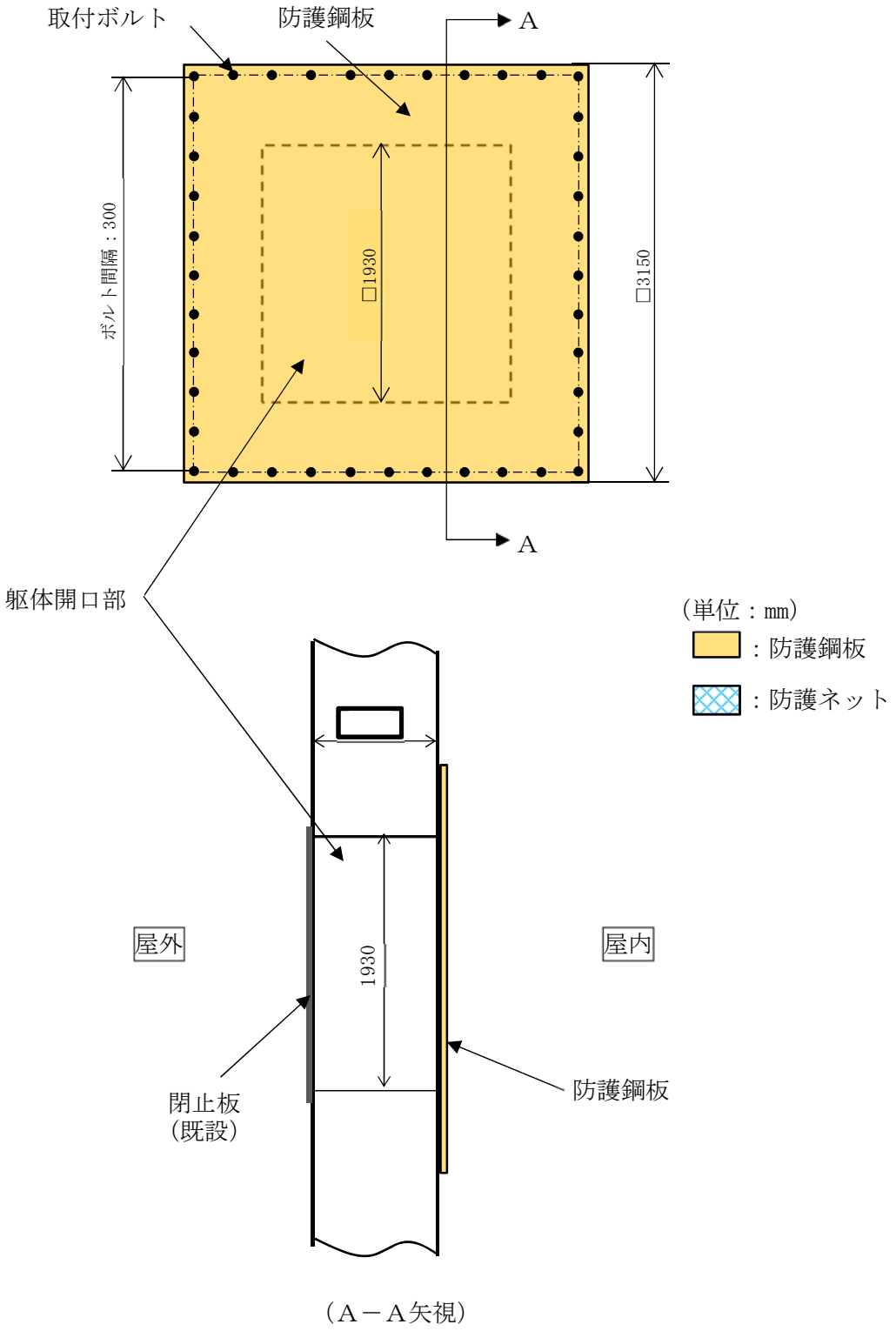


図 2-10　原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板の構造図

2.3　評価方針

防護鋼板の強度計算は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.　許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，防護鋼板の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

防護鋼板の評価フローを図 2-11 に示す。

防護鋼板の強度評価においては，その構造を踏まえて，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

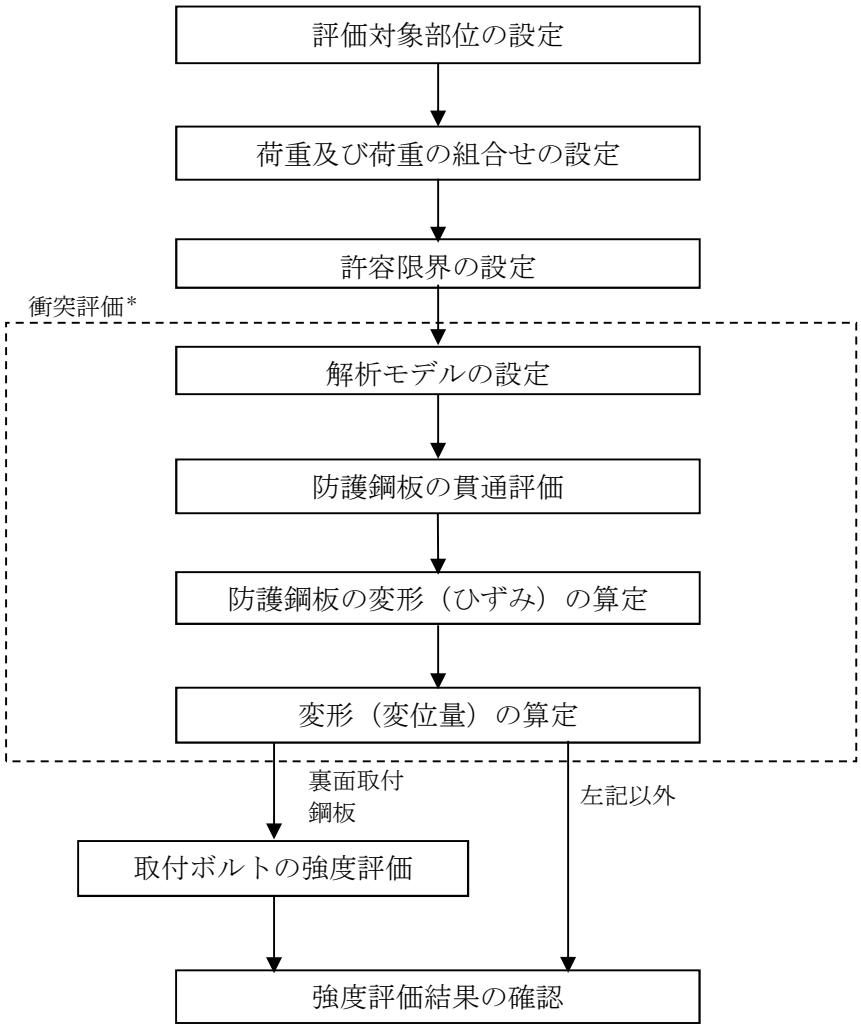
具体的には，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する直接的な影響の評価として，防護対策施設の外殻を構成する防護鋼板に対する衝突評価を実施する。

衝突評価においては，設計荷重に対して，施設の外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないために，防護鋼板が終局状態に至るようなひずみを生じないこと（貫通評価）及び防護鋼板の変形量が防護対策施設と外部事象防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有すること（変形評価）を確認する。

終局状態に至るようなひずみが確認される場合においては，その範囲を確認し，飛来物が貫通するものではないことを確認する。

また，防護鋼板をボルトで留める際には，支持構造物の設計荷重に対する表側の面に設置し，防護鋼板に作用する設計荷重を，支持構造物側に流す設計を基本とする。ただし，建屋の内表面へのボルト留めが必要な構造となる，原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板及び原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板については，ボルトにて設計荷重を全て受け止める構造となることから，据付ボルトが設計荷重に対し破断し，防護鋼板が脱落しないことを確認する（裏面取付鋼板ボルト評価）。

防護鋼板を支持し，鋼板に作用する荷重が伝達される架構の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2-1-3　架構の強度計算書」に示す。



注記＊　：衝突評価においては，3 次元ＦＥＭモデルによる解析を実施する。

図 2-11　防護鋼板の評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8（ＮＥＩ07-13))
・日本工業規格(ＪＩＳ)
・「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1-2005/2007」（（社）日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）
・「建築物荷重指針・同解説」（社）日本建築学会(2004 改定)
・「伝熱工学資料（改訂第 4 版）」（（社）日本機械学会　1986)
・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会）*
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）*
・「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）*

注記　＊：以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。

3.　強度評価方法

3.1　記号の定義

(1)　荷重の設定

荷重の設定に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1　荷重の設定に用いる記号

記号	単位	定義
A	m^2	防護鋼板の受圧面積
C	－	防護鋼板の風力係数
F_d	N	常時作用する荷重
G	－	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_T	m/s	設計竜巻の移動速度
W_M	N	設計飛来物による衝撃荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ΔP_{max}	N/m^2	最大気圧低下量
ρ	kg/m^3	空気密度
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される許容引張応力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される許容せん断応力
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張強さ
F_t	N	取付ボルトに対し作用する引張力
F_s	N	取付ボルトに対し作用するせん断力
d	mm	取付ボルトの直径（呼び径）
A_b	mm^2	取付ボルトの軸断面積
N	－	取付ボルトの本数
σ_{bt}	N/mm^2	取付ボルト１本当たりの引張応力
σ_{bs}	N/mm^2	取付ボルト１本当たりのせん断応力

3.2　評価対象部位

3.2.1　衝突評価

衝突評価として，「2.3　評価方針」に示すとおり，防護対策施設の外殻を構成する防護鋼板を対象とする。

(1)　貫通評価

防護鋼板の貫通評価として，飛来物が防護鋼板に直接衝突した場合についての解析を行う。

飛来物の衝突を考慮する場合，被衝突物の荷重負担面積が小さいほど衝突エネルギが分散されず，貫通に係る局所的な損傷が大きくなる傾向にある。したがって，貫通評価としては

荷重負担面積の小さい部位に代表性があるため，評価対象となる防護鋼板の材質ごとに，開口部寸法が小さく厚みが薄い箇所を踏まえ選定する。なお，防護鋼板の設計においては，厚さを一律[redacted]とすることから，開口部寸法が小さい箇所が代表となる。

貫通評価に用いる防護鋼板の仕様を表 3-2 に示す。

表 3-2　貫通評価に用いる防護鋼板の仕様

ケース	材質	寸法 縦(mm)×横(mm)	厚さ (mm)
1	SM490	827×933	[redacted]

(2)　変形評価

防護鋼板の変形評価として，飛来物が防護鋼板に直接衝突した場合についての解析を行う。

飛来物の衝突を考慮する場合，被衝突物の寸法が大きいほどたわみ量が大きくなる傾向にある。したがって，変形評価としては，評価対象となる防護鋼板の材料ごとに，開口部寸法が大きく厚みが薄い箇所を踏まえ選定する。なお，防護鋼板の設計においては，厚さを一律[redacted]とすることから，開口部寸法が大きい箇所が代表となる。

変形評価に用いる防護鋼板の仕様を表 3-3 に示す。

表 3-3　変形評価に用いる防護鋼板の仕様

ケース	材質	寸法 縦(mm)×横(mm)	厚さ (mm)
1	SM490	3800×4712	[redacted]
2	SM490	1850×2000	

3.2.2　裏面取付鋼板ボルト評価

裏面取付鋼板ボルト評価として，「2.3　評価方針」に示すとおり，ボルトにて設計荷重を全て受け止める構造となる，原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板の取付ボルト及び原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板の取付ボルトを対象とする。

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

(1)　荷重の設定

強度評価には以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-4 に示す。

表 3-4　荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m^2)
100	15	85	8900

a.　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは，下式により算定する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

設計用速度圧 q は，下式により算定する。

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

b.　飛来物による衝撃荷重(W_M)

飛来物による衝撃荷重(W_M)は，表 3-5 に示す飛来物の衝突に伴う荷重とする。飛来速度については，評価の代表性を考慮し，水平，鉛直の飛来速度のうち大きい方である水平方向速度を設定する。

表 3-5　飛来物の諸元

飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	飛来速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.2×0.3	135	51

c.　常時作用する荷重(F_D)

常時作用する荷重(F_D)としては，自重を考慮する。

(2)　荷重の組合せ

貫通評価及び変形評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「V-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」のとおり，風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。なお，防護対策施設は外殻に面する部材に気圧差は生じないことから，気圧差による荷重は考慮しない。

荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6　荷重の組合せ

評価内容	荷重の組合せ
貫通評価 変形評価 裏面取付鋼板ボルト評価	$W_W + W_M + F_d$

なお，貫通評価及び変形評価においては，風圧力による荷重と自重の組合せを考えた場合，鉛直設置鋼板への飛来物衝突時の変形方向（水平）においては，想定する風圧力（想定最大値：6100×1.2 ＝ 7320 N/m^2）が卓越する。これは，水平設置鋼板の衝突時変形方向（鉛直下向き）に作用する，風圧力（上向きのため考慮しない）と鋼板の自重（約 [redacted] N/m^2）の和より大きくなることから，評価においては，代表性を考慮し鉛直設置鋼板の風圧力を想定した荷重を設定する。

3.4 許容限界

防護鋼板の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5. 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて，「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

(1) 貫通評価

貫通評価の許容限界としては，鋼材の破断ひずみを設定する。破断ひずみについては，「3.5.(3)b. 破断ひずみ」に示すとおり，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，「ＮＥＩ07-13 : Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs」（以下「ＮＥＩ07-13」という。）においてＴＦ（多軸性係数）を 2.0 とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕としてＴＦ = 2.0 を考慮して設定する。

貫通評価の許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 許容限界(防護鋼板の貫通評価)

ケース	材質	破断ひずみ* (－)
1	SM490	[redacted]

注記 ＊：真ひずみ換算値

(2) 変形評価

変形評価の許容限界としては，防護鋼板の材質ごとに，それぞれが適用されている部位における外部事象防護対象施設との離隔距離未満の変形量を設定する。

変形評価の許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 許容限界(防護鋼板の変形評価)

ケース	材質	寸法 縦(mm)×横(mm)	衝突方向変位量 (mm)
1	SM490	3800×4712	[redacted]
2	SM490	1850×2000	

(3) 裏面取付鋼板ボルト評価

裏面取付鋼板ボルト評価の許容限界としては，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，その他支持構造物の許容限界を適用し，許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$から算出した許容応力を許容限界とする。

裏面取付鋼板ボルト評価の許容限界を表 3-9 に示す。

表 3-9　許容限界(裏面取付鋼板ボルト評価)

許容応力状態	応力の種類		許容限界
$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	一次応力	引　張*	1.5 f_t
		せん断*	1.5 f_s

注記　＊：一方の荷重が卓越する場合は，もう一方は評価しない。

具体的な許容限界を表 3-10 に示す。

表 3-10　裏面取付鋼板ボルトの許容限界（1/2）

(原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板)

評価対象部位		材質	温度条件(℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	1.5 f_t (MPa)	1.5 f_s (MPa)
取付ボルト	1	SM490	40	325	490	243	187

表 3-10　裏面取付鋼板ボルトの許容限界（2/2）

(原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板)

評価対象部位		材質	温度条件(℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	1.5 f_t (MPa)	1.5 f_s (MPa)
取付ボルト	1	S45C*1	40	490	690	362	278
	2	SCM432*2	40	735	880	369*3	284*3

注記　＊1：防護鋼板を鉄鋼部（柱等）に留める場合に用いる
＊2：鋼板取付部材を床面に固定するボルトに用いる
＊3：ケミカルアンカーとして，ＪＥＡＧ４６０１に基づき，その他の支持構造物（ボルト等）の許容値から 20%低減した値

3.5　評価方法

3.5.1　貫通評価及び変形評価

(1)　解析モデル

防護鋼板の貫通評価及び変形評価は，解析コード「ＬＳ－ＤＹＮＡ」を用いて 3 次元ＦＥＭモデルによりモデル化し評価を実施する。なお，評価に用いた解析コード「ＬＳ－ＤＹＮＡ」の検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-32　計算機プログラム（解

析コード）の概要・ＬＳ－ＤＹＮＡ」に示す。

防護鋼板はシェル要素でモデル化し，境界条件は，防護鋼板の端部を完全固定とする。飛来物は，衝突時の荷重が保守的となるよう接触断面積を小さくするため，先端部（衝突部）を開口としてシェル要素でモデル化する。

防護鋼板及び飛来物の解析モデル図を図 3-1 に示す。

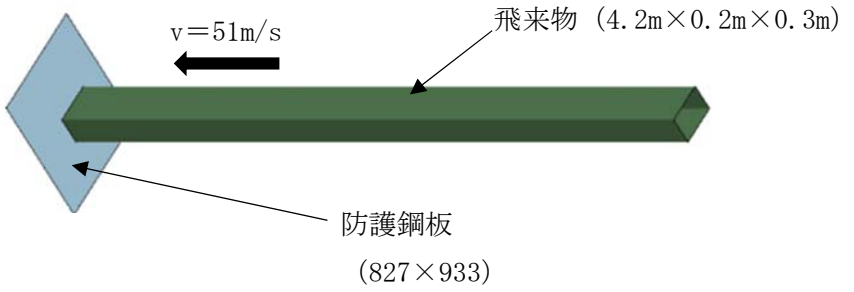


図 3-1　防護鋼板及び飛来物の解析モデル図

(2)　材料定数

飛来物及び防護鋼板に使用する鋼材の材料定数を表 3-11 に示す。

材料定数は，ＪＩＳ及び「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（社）日本建築学会(2005 改定)」に基づき設定する。

表 3-11 使用材料の材料定数

	材質	厚さ (mm)	降伏応力 σ_y (MPa)	ヤング係数 E(MPa)	ポアソン比 (－)
飛来物 (鋼製材)	SS400	5 を超え 16 以下	245	2.05×10^5	0.3
防護 鋼板	SM490			2.05×10^5	0.3

(3)　鋼製材料の非線形特性

a.　材料の応力－ひずみ関係

飛来物の衝突に対する解析は，変形速度が大きいためひずみ速度効果を考慮することとし，以下に示す Cowper－Symonds の式を適用する。

$$\sigma_{eq}=\left(A+B\varepsilon_{pl}{}^{n}\right)\left\{1+\left(\dot{\varepsilon}_{pl}/D\right)^{1/q}\right\}$$

ここで，σ_{eq}は動的応力，Ａは降伏応力，Ｂは硬化係数，ε_{pl}は相当塑性ひずみ，$\dot{\varepsilon}_{pl}$は無次元相当塑性ひずみ速度，ｎは硬化指数，Ｄ及びｑはひずみ速度係数を表す。これらのパラメータを表 3-12 に示す。これらのパラメータは，日本溶接協会の動的物性の推定式（WES 式）にフィッティングする様に選定した。

表 3-12　Cowper-Symonds 式への入力パラメータ

	飛来物 （鋼製材）	防護鋼板
材料	SS400	SM490
B		
n		
D（s^{-1}）		
q		

材料の応力－ひずみ関係はバイリニア型とする。

バイリニア型応力－ひずみ関係の概念図を図 3-2 に示す。

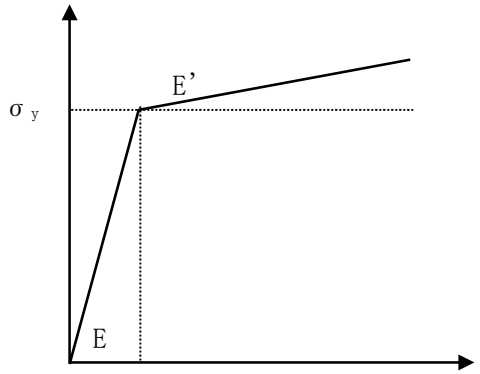


図 3-2　バイリニア型応力－ひずみ関係の概念図

b.　破断ひずみ

破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また，「ＮＥＩ 07-13」においてＴＦ（多軸性係数）を 2.0 とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕としてＴＦ= 2.0 を考慮する。ＴＦについては，防護鋼板のみ 2.0 とする。

鋼製材は，保守的に破断ひずみを超えても要素を削除せず，荷重を負担するものとする。

防護鋼板の破断ひずみを表 3-13 に示す。

表 3-13　防護鋼板の破断ひずみ

（単位：－）

ケース	材質	ＪＩＳ規格値（伸び）	ＴＦ	破断ひずみ*
1	SM490		2.0	

注記　＊：真ひずみ換算値

3.5.2　裏面取付鋼板ボルト評価

(1)　評価モデル

a.　原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板

原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板の，裏面取付鋼板ボルト評価における引張応力は，防護鋼板の受圧面積に対する風圧力及び設計飛来物の衝突荷重に対し，これを全て 4 辺の取付ボルトで受けるものとして計算する。なお，ボルトの取付構造上引張荷重が卓越することが自明なので，せん断の評価は省略する。

(a)　引張力

$$F_t = W_W + W_M$$

(b)　引張応力

$$\sigma_{bt} = F_{bt} / (N \cdot A_b)$$

ここで，

$$A_b = \pi \cdot d^2 / 4$$

b.　原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板

原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板の，裏面取付鋼板ボルト評価における引張応力は，防護鋼板に対する設計飛来物の衝突荷重に対し，これを全て上下 2 辺の取付ボルトで受けるものとして計算する。なお，風は屋外側に別途設置される外装板により遮られるため，風圧力については考慮しない。また，ボルトの取付構造上，鋼板を鉄鋼部（柱等）に留めるボルトでは引張荷重が卓越することが自明なので，せん断の評価は省略する。鋼板取付部材を床版に固定するアンカーボルトではせん断荷重が卓越することが自明なので，引張の評価は省略する。

(a)　引張力（もしくはせん断力）

$$F_t = W_M$$

(b)　引張応力（もしくはせん断応力）

$$\sigma_{bt(s)} = F_{bt(s)} / (N \cdot A_b)$$

ここで，

$$A_b = \pi \cdot d^2 / 4$$

4.　評価条件

「3.強度評価方法」に用いる評価条件を以下に示す。

表 4-1　風荷重の算出に用いる条件（共通）

q (N/m^2)	G (-)
6.1×10^3	1.0

防護鋼板の貫通評価及び変形評価における風荷重の算出条件を，表 4-2 に示す。

表 4-2　風荷重の算出に用いる条件（貫通評価，変形評価）

C (-)	A (m^2)		
1.2	貫通評価	ケース 1	0.772
	変形評価	ケース 1	17.9
		ケース 2	3.70

原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板取付ボルトの竜巻評価の条件を，表 4-3 に示す。

表 4-3　裏面取付鋼板ボルトの評価条件（竜巻）
（原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板）

C (－)	A (m^2)	W_W (kN)	W_M (kN)	ボルト直径 d (mm)	A_b (mm^2)	N (－)
0.8	3.73	34	4000	24	452	40

ここで，原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板の荷重W_Mは，貫通評価及び変形評価に用いた鋼板及び別途衝突解析を実施した鋼板に作用する単位長さ当たりの荷重が，図 4-1 に示すとおり 4 辺の長さが大きくなるほど低下するデータを基に，以下のとおり設定した。

・開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板の固定端 4 辺の長さの合計：12.0 m

・図 4-1 で，12.6 m より小さい最近ケースの単位長さ当たりの荷重：[redacted] kN/m

より，開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板に作用するW_Mは，

W_M ＝12.0×[redacted]

＝[redacted] kN

となり，これを保守側に丸めて 4000 kN とした。

[redacted]

図 4-1　防護鋼板固定端に作用する荷重

原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板取付ボルトの竜巻評価の条件を，表 4-4 に示す。

表 4-4　裏面取付鋼板ボルトの評価条件（竜巻）
（原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板）

鋼板寸法* (mm)	A (m^2)	W_M (kN/m)	ボルト直径 d (mm)	A_b (mm^2)	N (－)
1000×1000	1.00	1450	24	452	12

注記　＊：最小寸法として設定

原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板の単位長さ当たりの荷重W_Mは，図 4-1 の衝突解析データを基に，以下のとおり設定した。

・鋼板寸法より小さい最近ケースの単位長さ当たりの荷重：[redacted] kN/m　に対し，原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板が 2 辺固定であることを考慮し，

W_M ＝[redacted]× 2　（データは 4 辺固定での値であるため 2 倍）

＝[redacted] kN

となり，これを保守側に丸めて 1450 kN/m とした。

5.　強度評価結果

(1)　貫通評価

防護鋼板の貫通評価結果を表 5-1 に示す。防護鋼板のひずみは許容限界を超えず，設計飛来物は防護鋼板を貫通しない。

表 5-1　貫通評価結果

（単位：－）

ケース	ひずみ	
	評価結果	許容限界
1	0.047	

(2)　変形評価

防護鋼板の変形評価結果を表 5-2 に示す。衝突方向変位量は許容限界を超えず，防護鋼板が外部事象防護対象施設に接触することはない。

表 5-2　変形評価結果

（単位：mm）

ケース	衝突方向変位量	
	評価結果	許容限界
1	114	
2	79	

(3)　裏面取付鋼板ボルト評価

原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板取付ボルト評価の結果を表 5-3 及び表 5-4 に示す。取付ボルトに発生する応力は許容限界を超えず，原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板が脱落することはない。

表 5-3　裏面取付鋼板ボルト評価結果

（原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設防護鋼板）

（単位：N/mm^2）

評価対象部位	応力分類	発生応力	許容限界
1	引張	224	243

また，原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板取付ボルト評価の結果を表 5-4 に示す。引張及びせん断の何れのケースにおいても，取付ボルトに発生する応力は許容限界を超えず，原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板が脱落することはない。

表 5-4　裏面取付鋼板ボルト評価結果

（原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設防護鋼板）

（単位：N/mm^2）

評価対象部位	応力分類	発生応力	許容限界
1	引張	268	362
2	せん断	268	284

Ⅴ-3-別添 1-2-1-3　架構の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 23
2.4 適用規格 25
3. 強度評価方法 26
3.1 記号の定義 26
3.1.1 荷重の設定 26
3.2 評価対象部位 26
3.2.1 貫通評価 26
3.2.2 支持機能評価 26
3.3 荷重及び荷重の組合せ 27
3.3.1 荷重の設定 27
3.3.2 荷重の組合せ 28
3.4 許容限界 28
3.5 評価方法 30
4. 評価条件 41
5. 強度評価結果 47
5.1 貫通評価 47
5.2 支持機能評価 47
5.2.1 部材の支持機能評価 47
5.2.2 架構全体の支持機能評価 49

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり，防護対策施設である非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設，海水ポンプエリア防護対策施設，原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設，中央制御室換気系開口部防護対策施設，使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の架構が，設置（変更）許可申請書に示す設計飛来物（以下「飛来物」という。）の衝突に加え，風圧力に対し，竜巻時及び竜巻通過後においても外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させず，また，機械的な波及的影響を与えず，外部事象防護対象施設の安全機能維持を考慮して，架構の主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」を踏まえ，架構の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

架構は，原子炉建屋（原子炉棟外壁及び付属棟屋上並びに外壁），海水ポンプ室周り及び使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁に設置する。

架構の設置位置図を図 2-1 に示す。

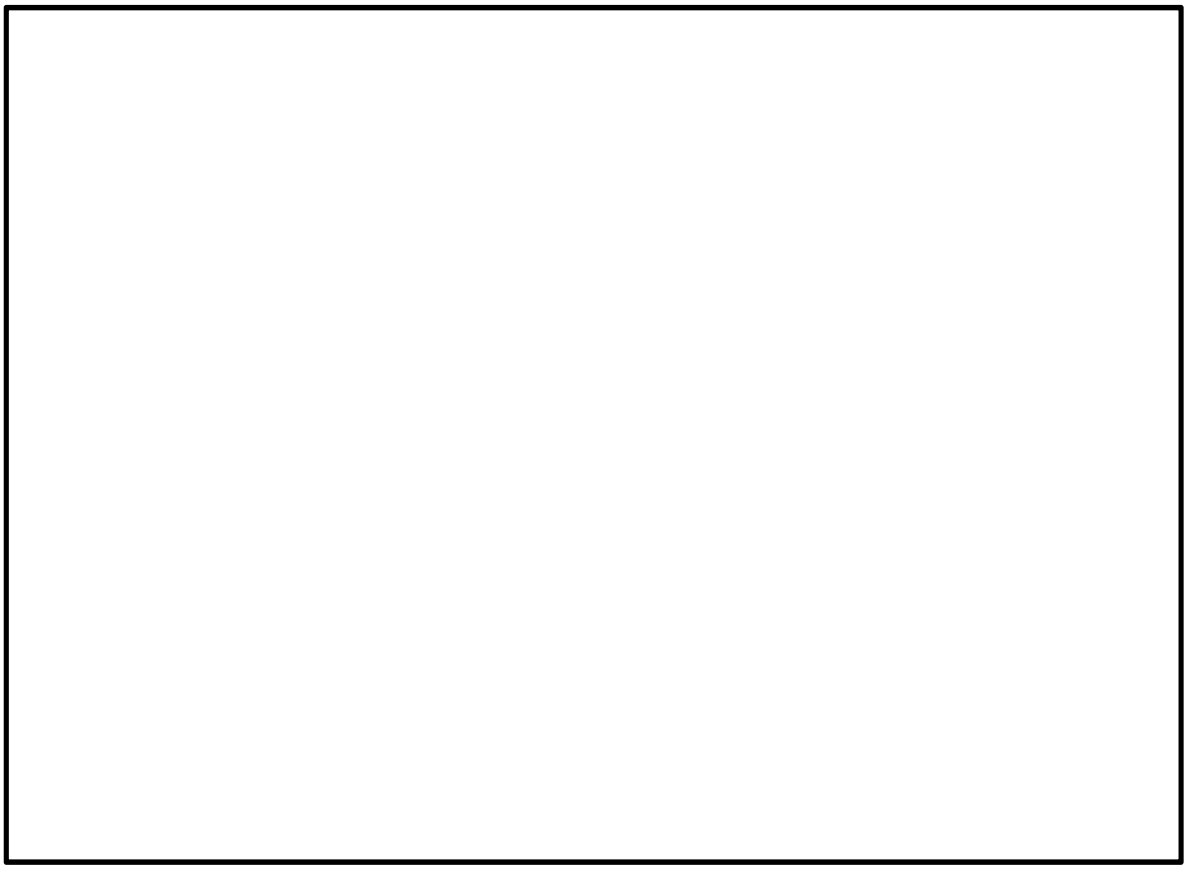


図 2-1　架構の設置位置図

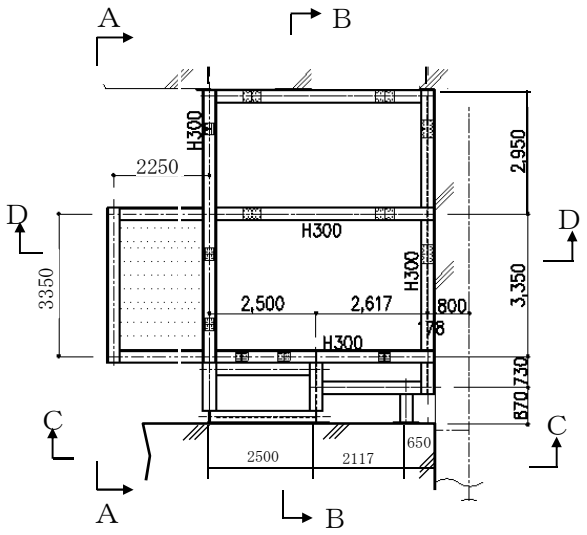
2.2　構造概要

架構の構造は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「3.3　架構の構造設計」に示す構造計画を踏まえて設定する。

(1)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設の架構は，防護ネット及び防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり，外部事象防護対象施設である非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンを内包する施設として，柱，はり等により構成される。

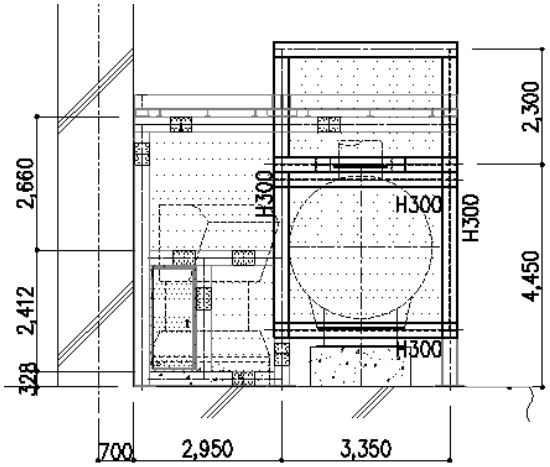
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構の構造図を図 2-2 に示す。



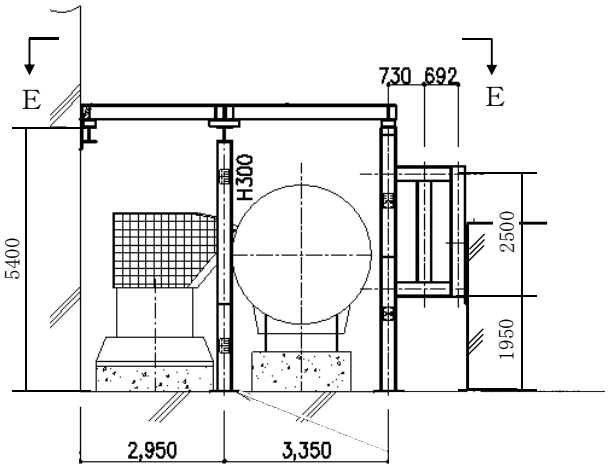
（単位：mm）

：原子炉建屋

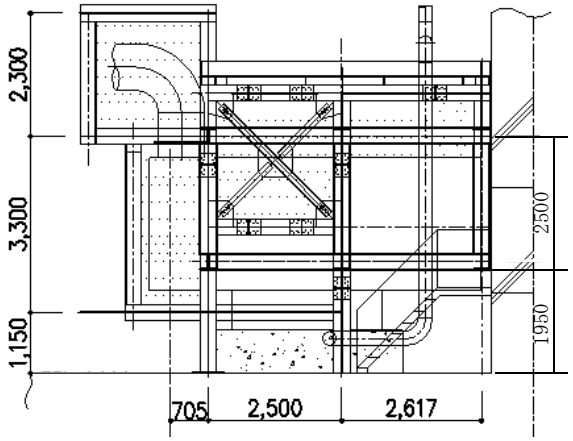
平面図（Ｅ－Ｅ矢視）



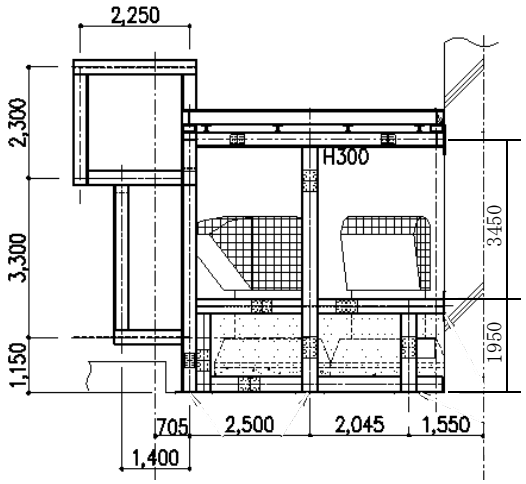
立面図（Ａ－Ａ矢視）



立面図（Ｂ－Ｂ矢視）



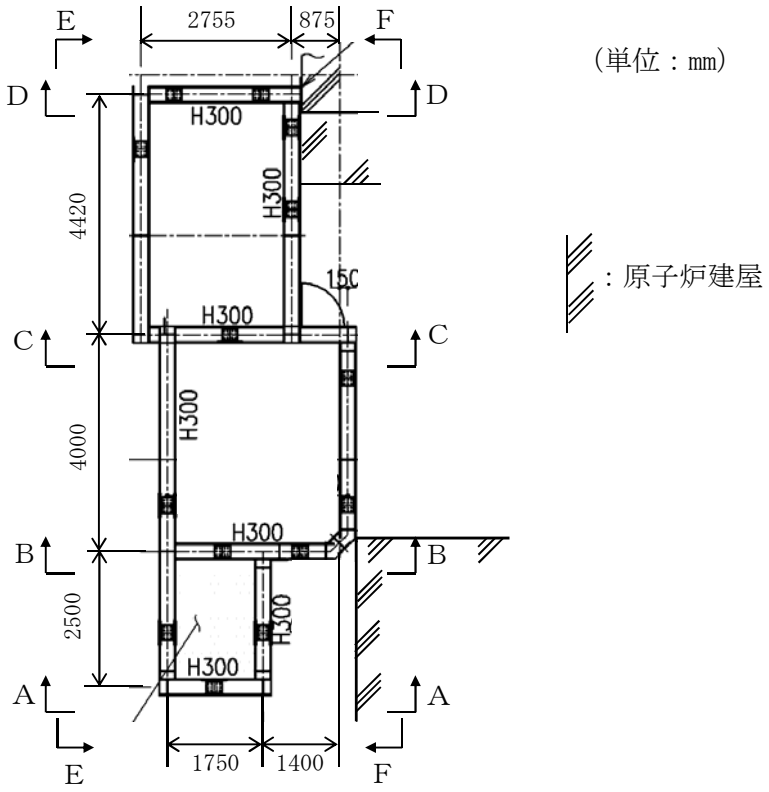
立面図（Ｃ－Ｃ矢視）



立面図（Ｄ－Ｄ矢視）

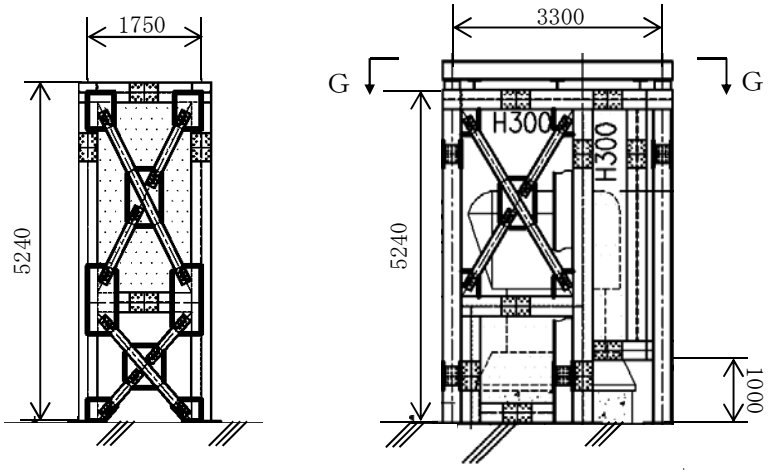
図 2-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構の構造図(1/7)

（２Ｃ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設）



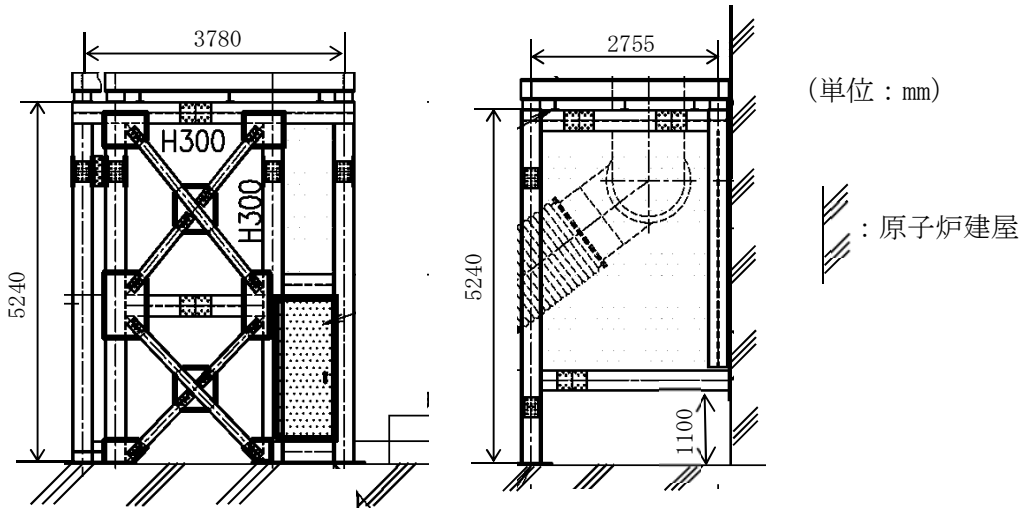
（単位：mm）

上面図（G－G矢視）

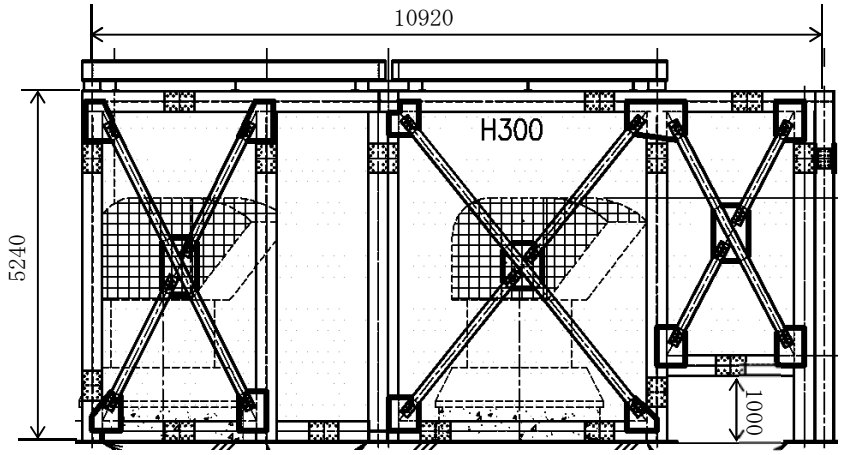


正面図（A－A矢視）　　正面図（B－B矢視）

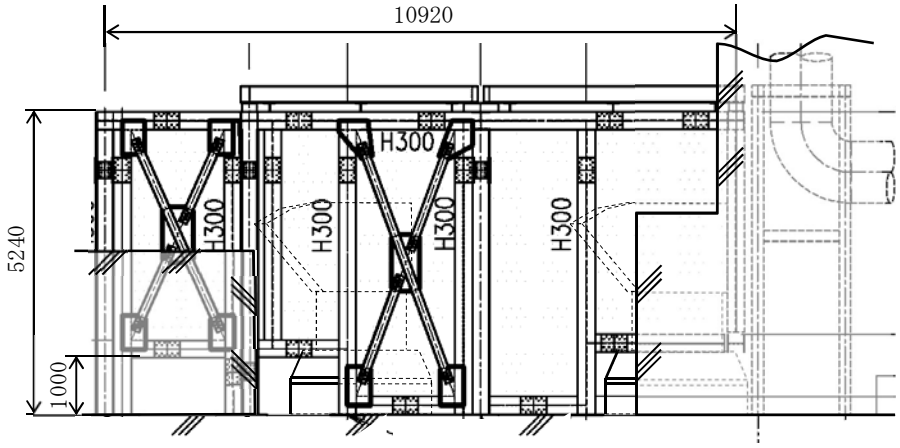
図 2-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構の構造図(2/7)
（２D非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設(1/2)）



正面図（Ｃ－Ｃ矢視）　　正面図（Ｄ－Ｄ矢視）



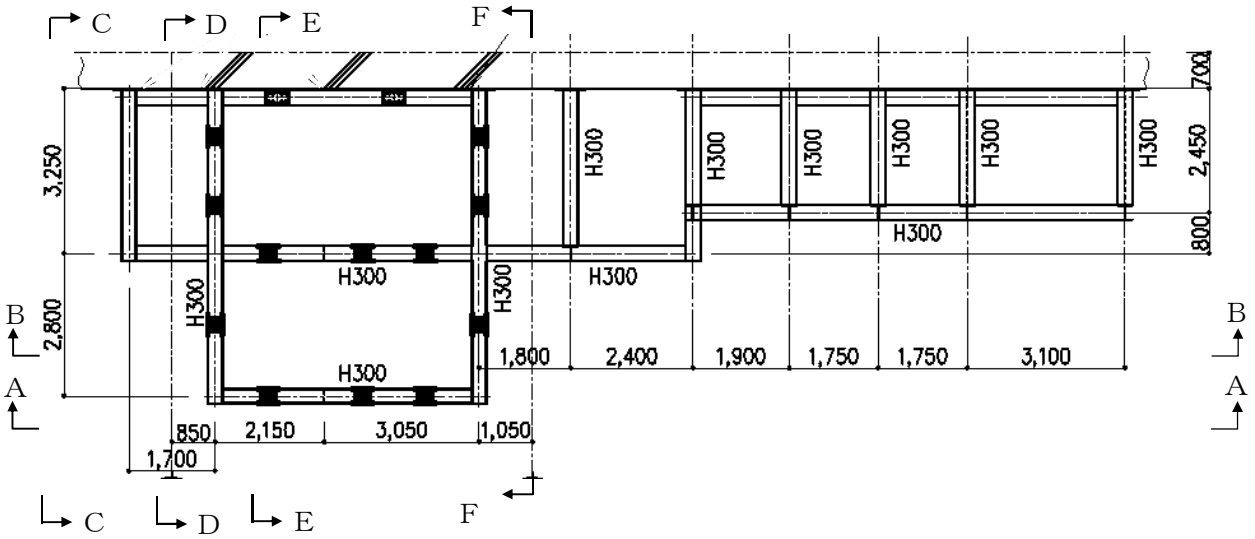
側面図（Ｅ－Ｅ矢視）



側面図（Ｆ－Ｆ矢視）

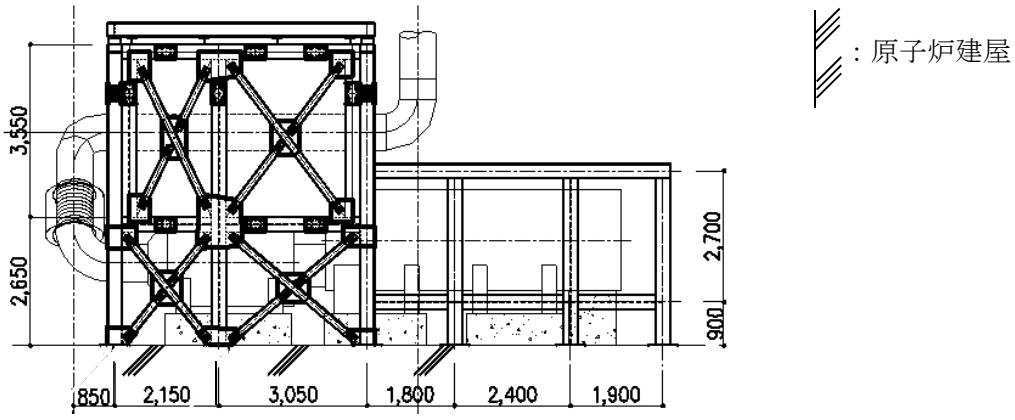
図 2-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構の構造図(3/7)

（２Ｄ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設(2/2)）



（単位：mm）

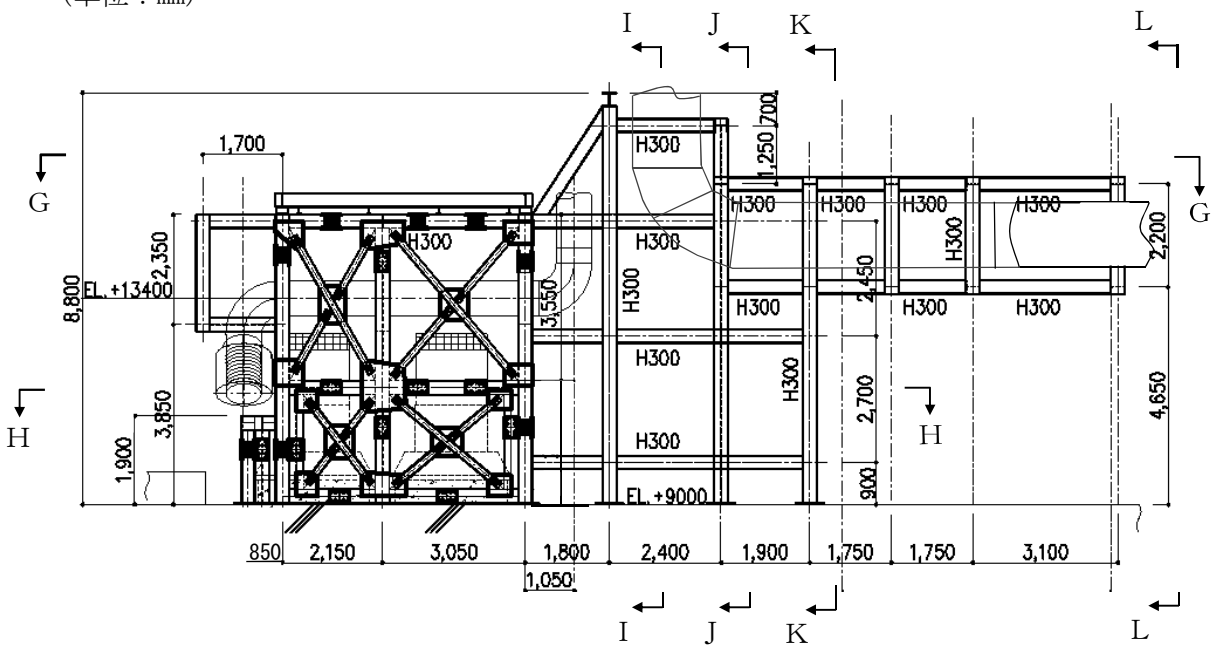
平面図（G－G矢視）



側面図（A－A矢視）

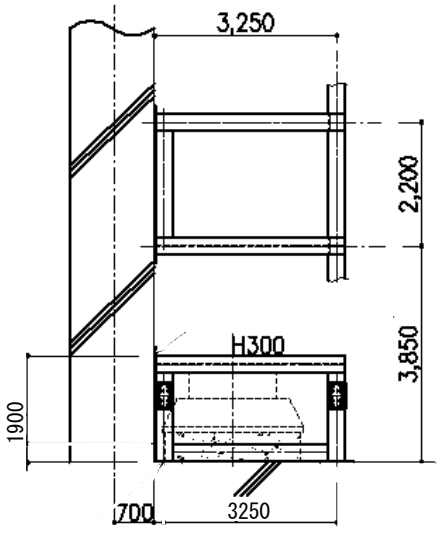
図 2-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構の構造図(4/7)
（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設(1/4)）

（単位：mm）

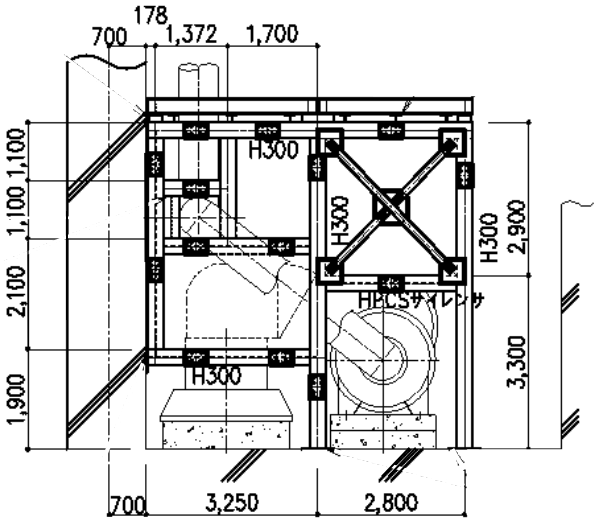


側面図（Ｂ－Ｂ矢視）

：原子炉建屋



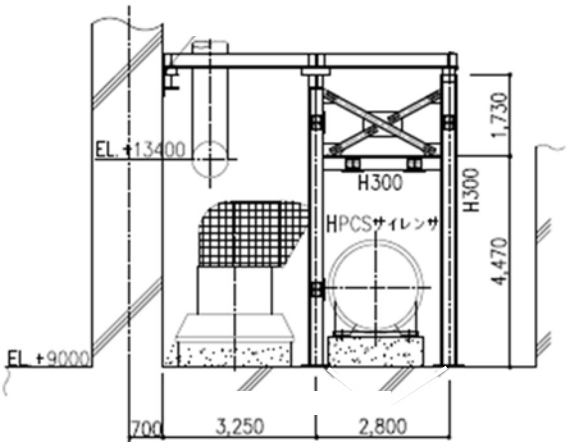
側面図（Ｃ－Ｃ矢視）



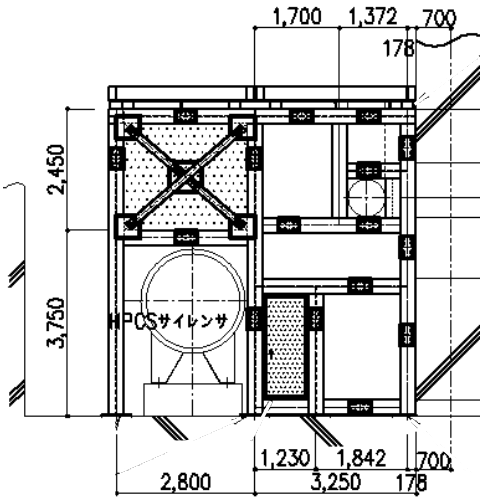
側面図（Ｄ－Ｄ矢視）

図 2-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構の構造図(5/7)
（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設(2/4)

（単位：mm）

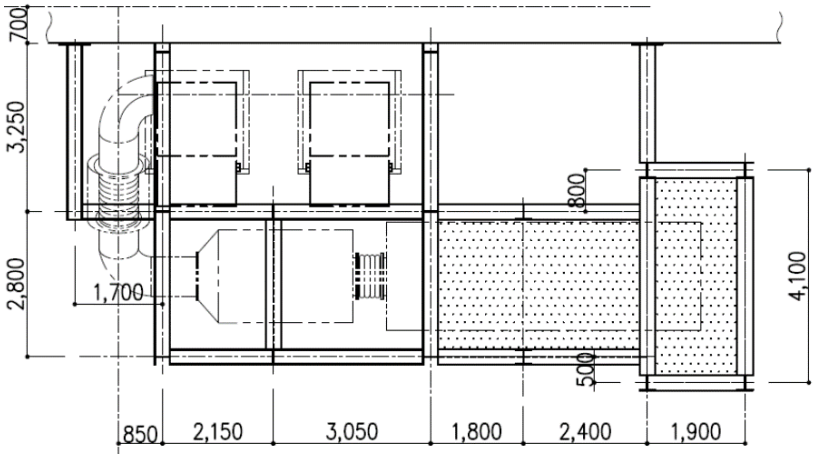


側面図（Ｅ－Ｅ矢視）



側面図（Ｆ－Ｆ矢視）

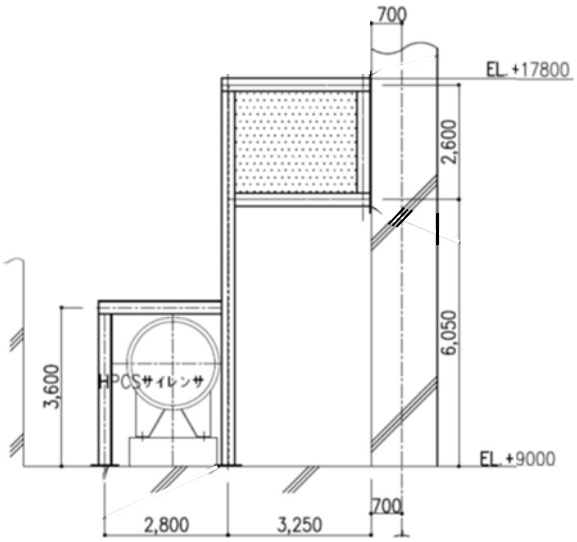
：原子炉建屋



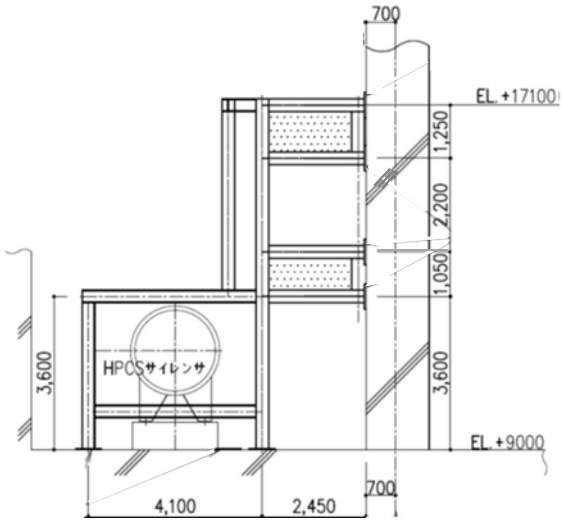
側面図（Ｈ－Ｈ矢視）

図 2-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構の構造図(6/7)
（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設(3/4)）

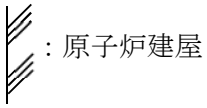
（単位：mm）

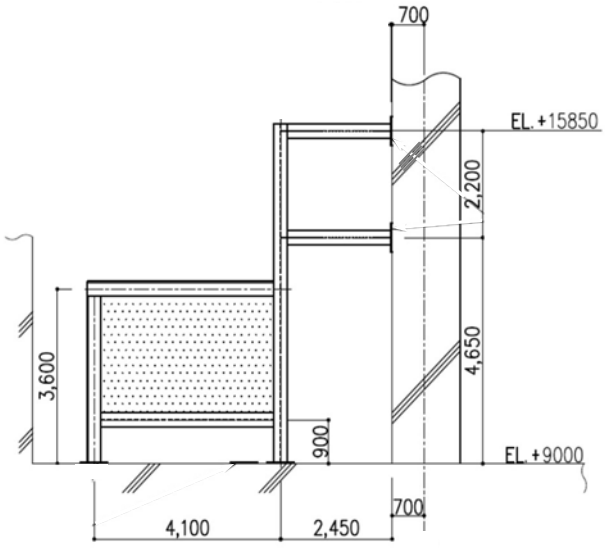


側面図（Ⅰ－Ⅰ矢視）

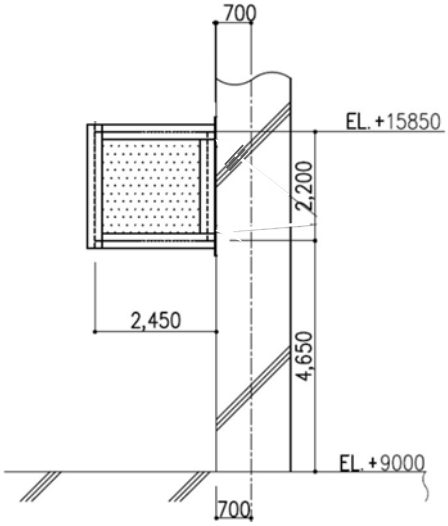


側面図（Ｊ－Ｊ矢視）





側面図（Ｋ－Ｋ矢視）



側面図（Ｌ－Ｌ矢視）

図 2-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構の構造図(7/7)
（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設(4/4)）

(2)　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構は，防護ネット及び防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり，外部事象防護対象施設である中央制御室換気系冷凍機を内包する施設として，柱，はり等により構成される。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構の構造図を図 2-3 に示す。

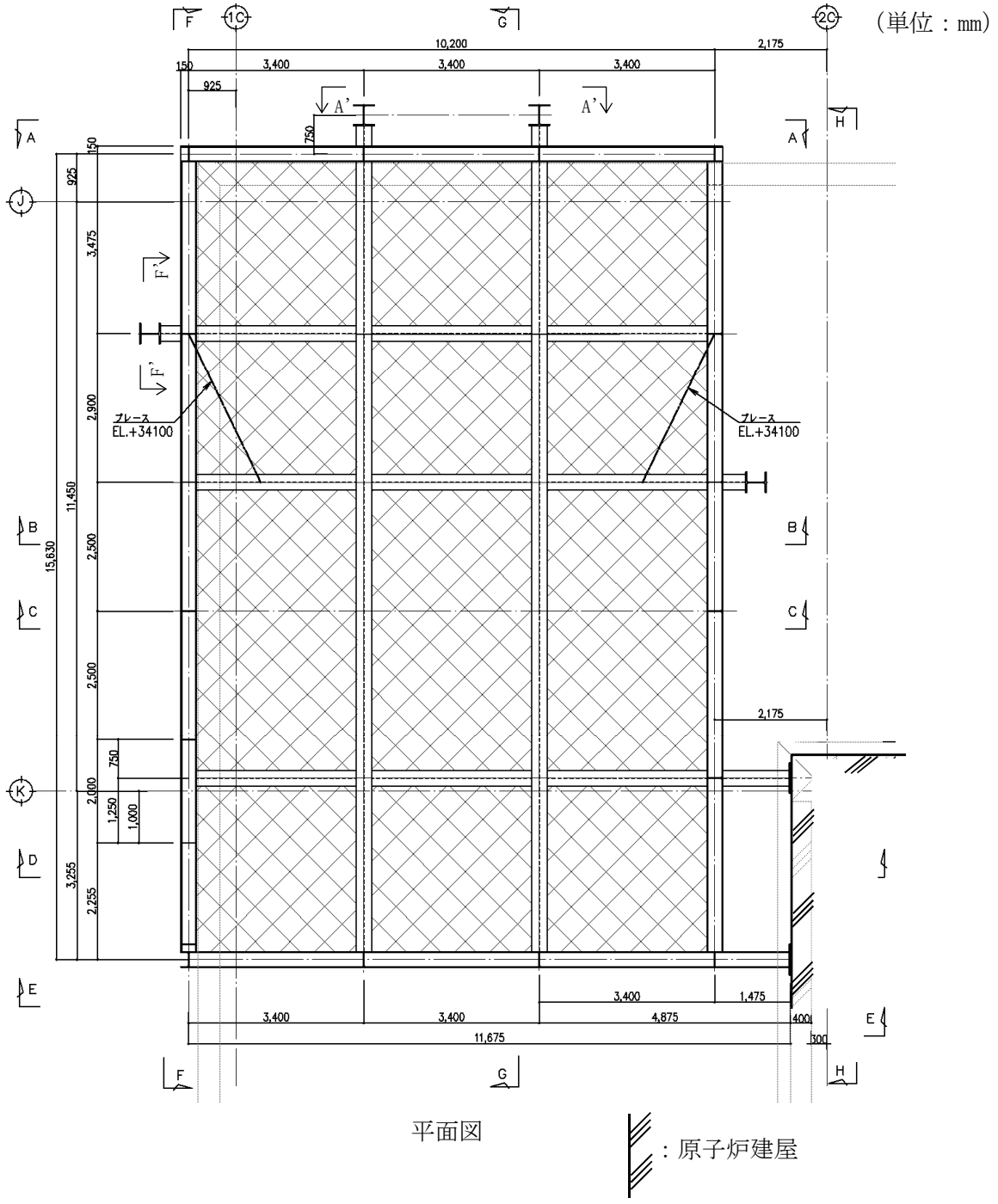
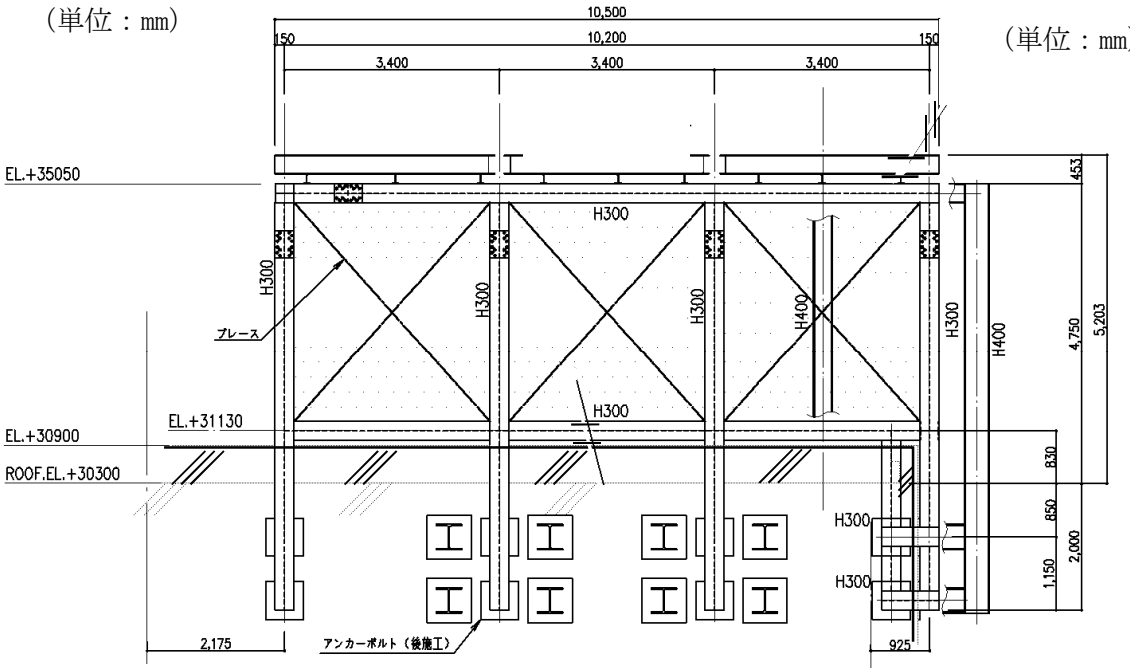


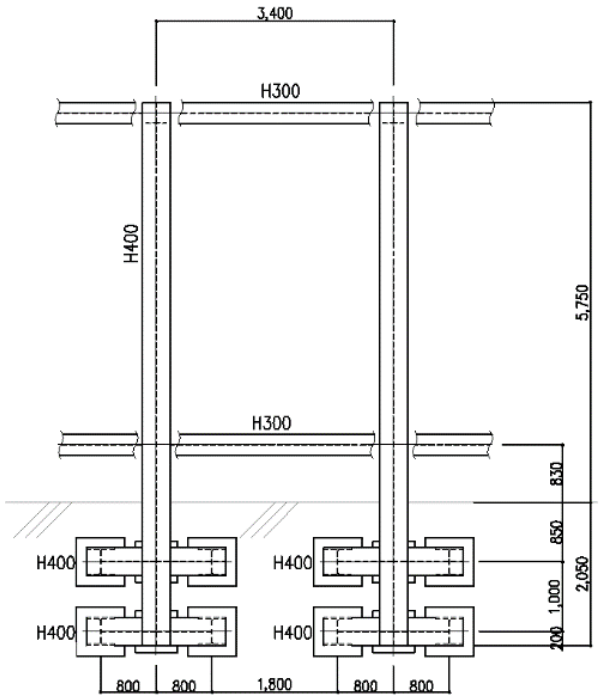
図 2-3　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構の構造図(1/6)

（単位：mm）



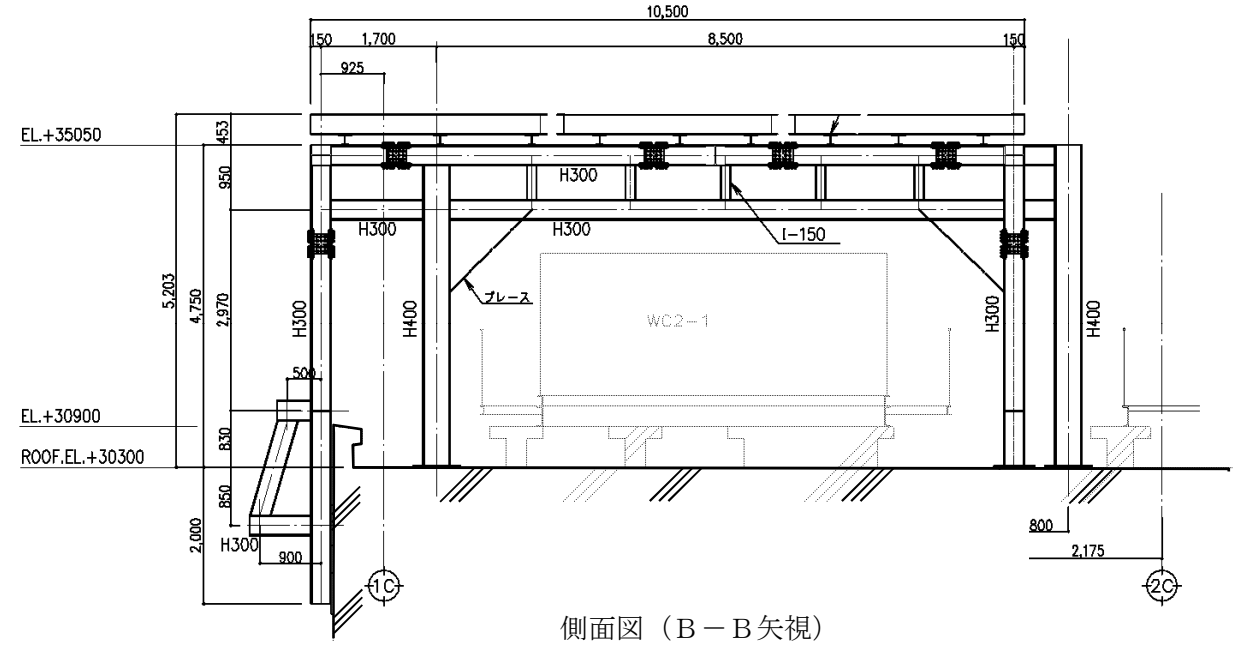
側面図（Ａ－Ａ矢視）

：原子炉建屋



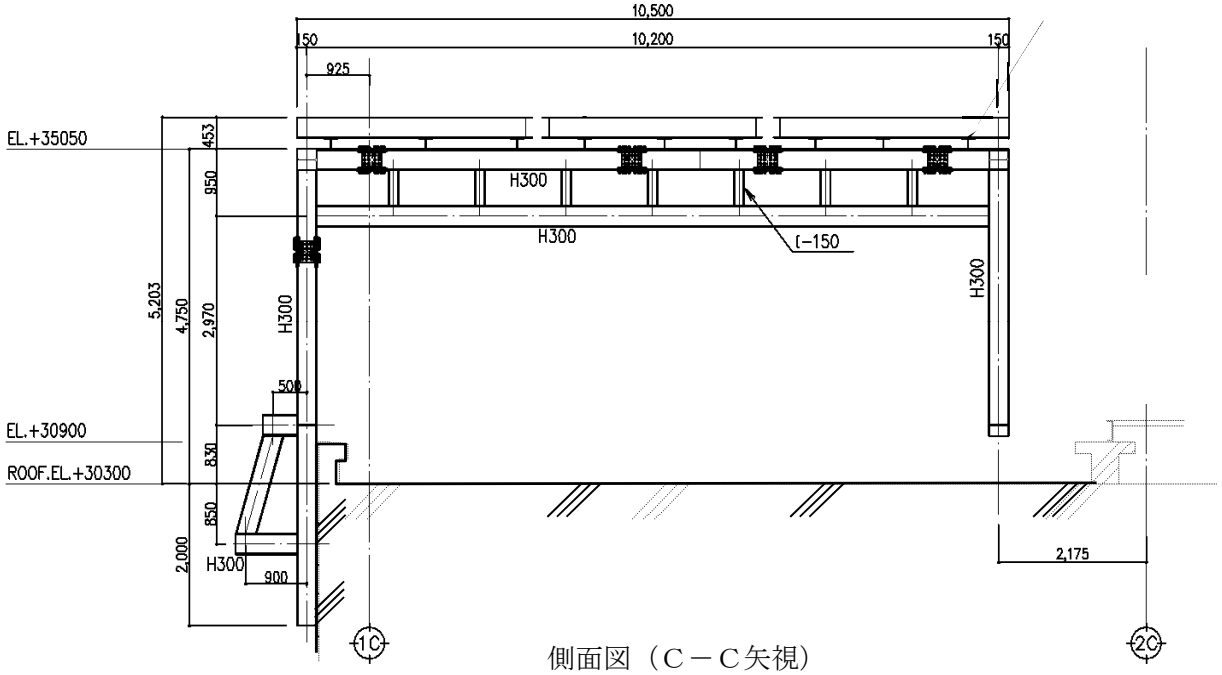
側面図（Ａ’－Ａ’矢視）

図 2-3　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構の構造図(2/6)



側面図（Ｂ－Ｂ矢視）

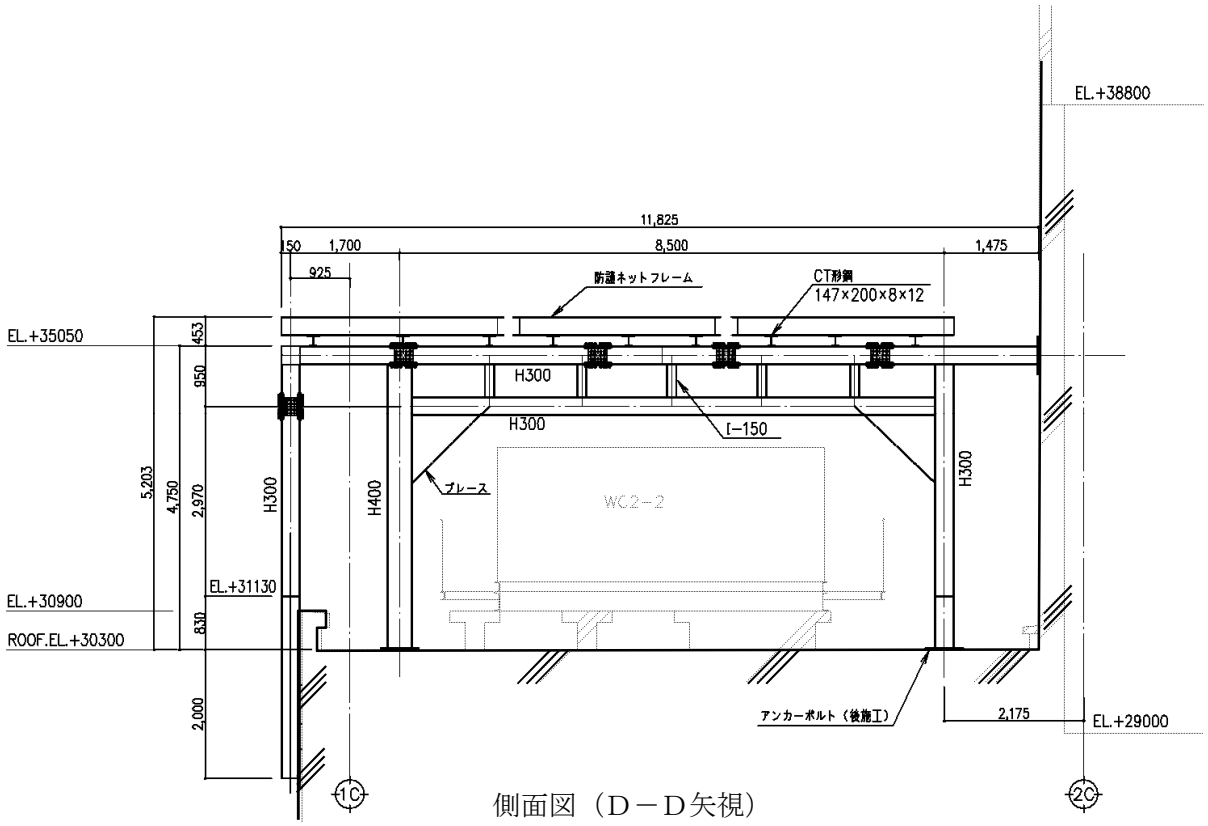
：原子炉建屋



側面図（Ｃ－Ｃ矢視）

図 2-3　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構の構造図(3/6)

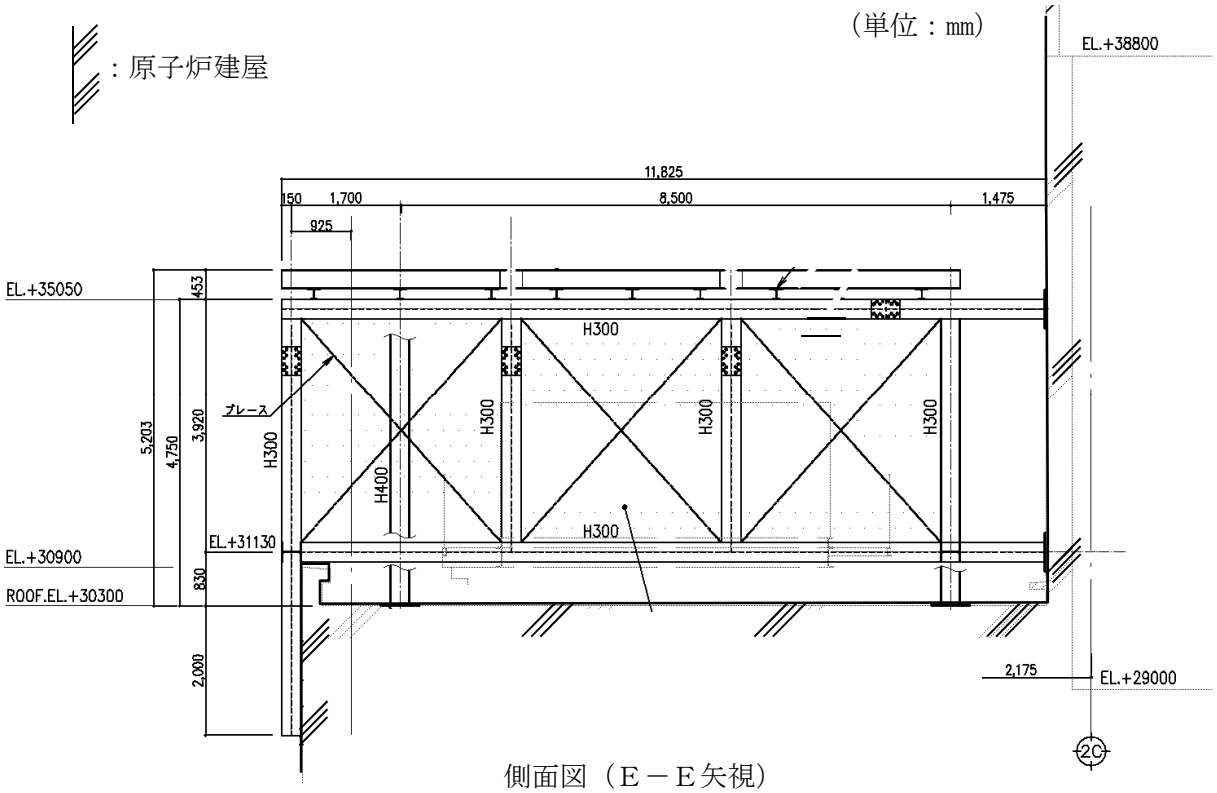
（単位：mm）



側面図（Ｄ－Ｄ矢視）

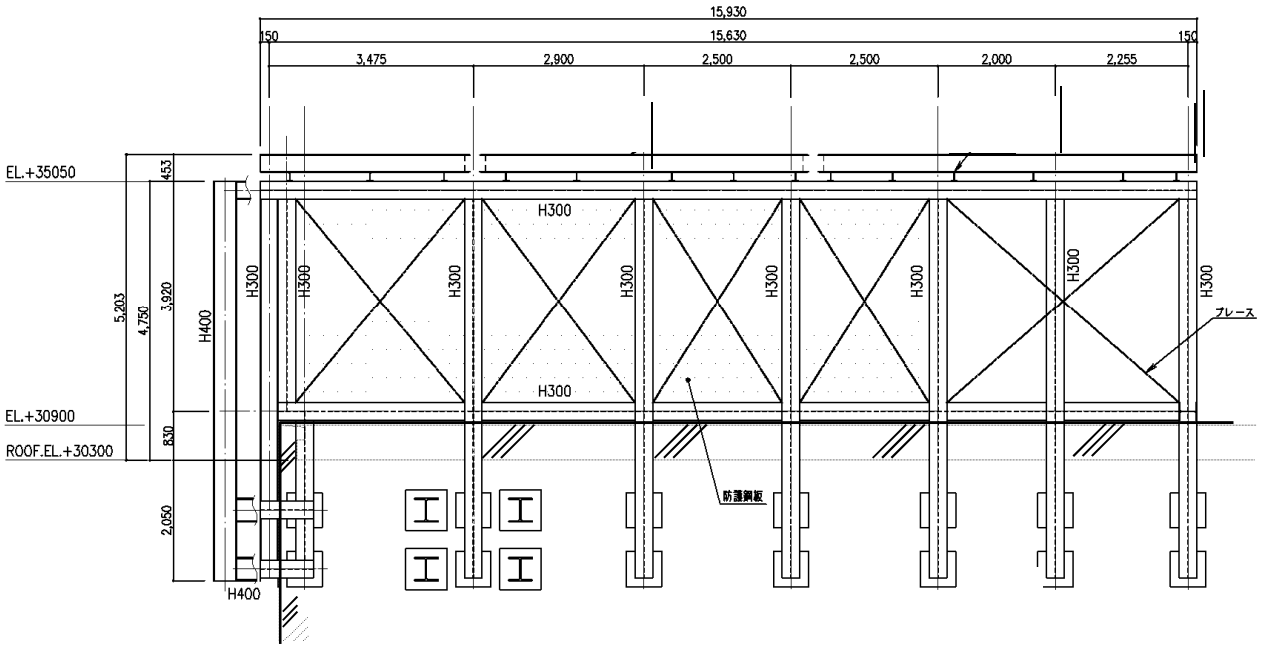
：原子炉建屋

（単位：mm）

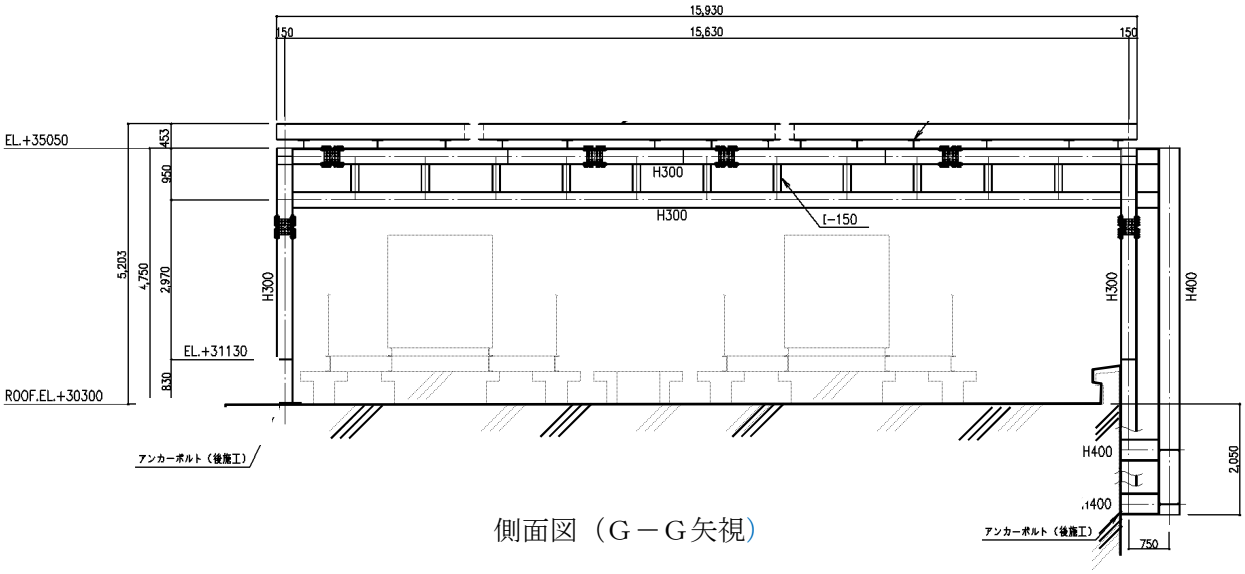


側面図（Ｅ－Ｅ矢視）

図 2-3　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構の構造図(4/6)

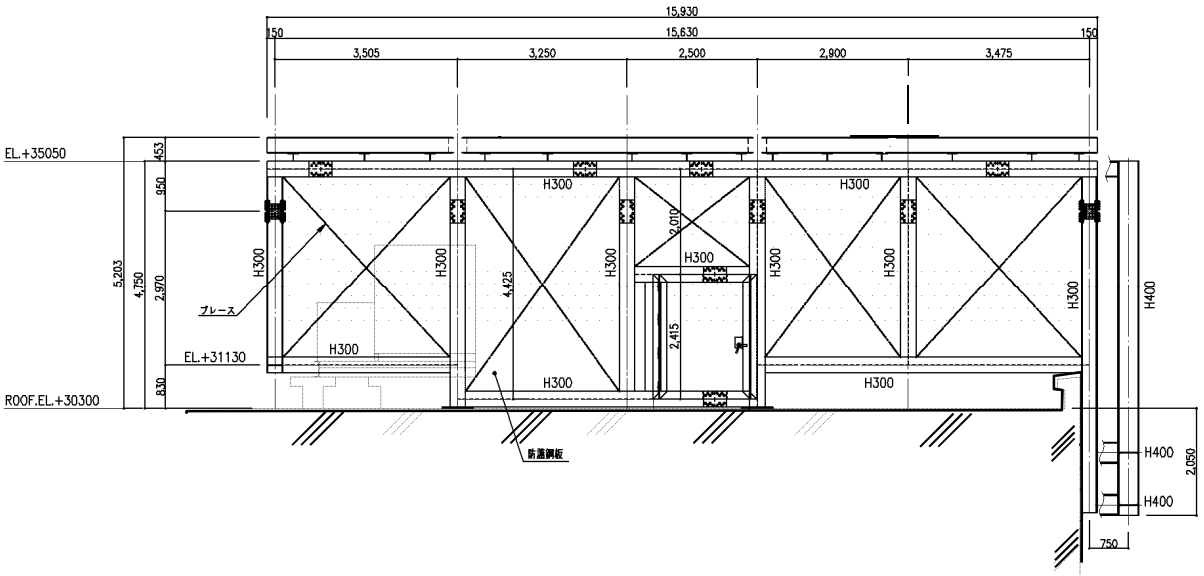

15,930
150
15,630
150
3,475
2,900
2,500
2,500
2,000
2,255
EL.+35050
453
5,203
4,750
3,920
H400
H300
H300
H300

（単位：mm）



側面図（Ｇ－Ｇ矢視）

：原子炉建屋



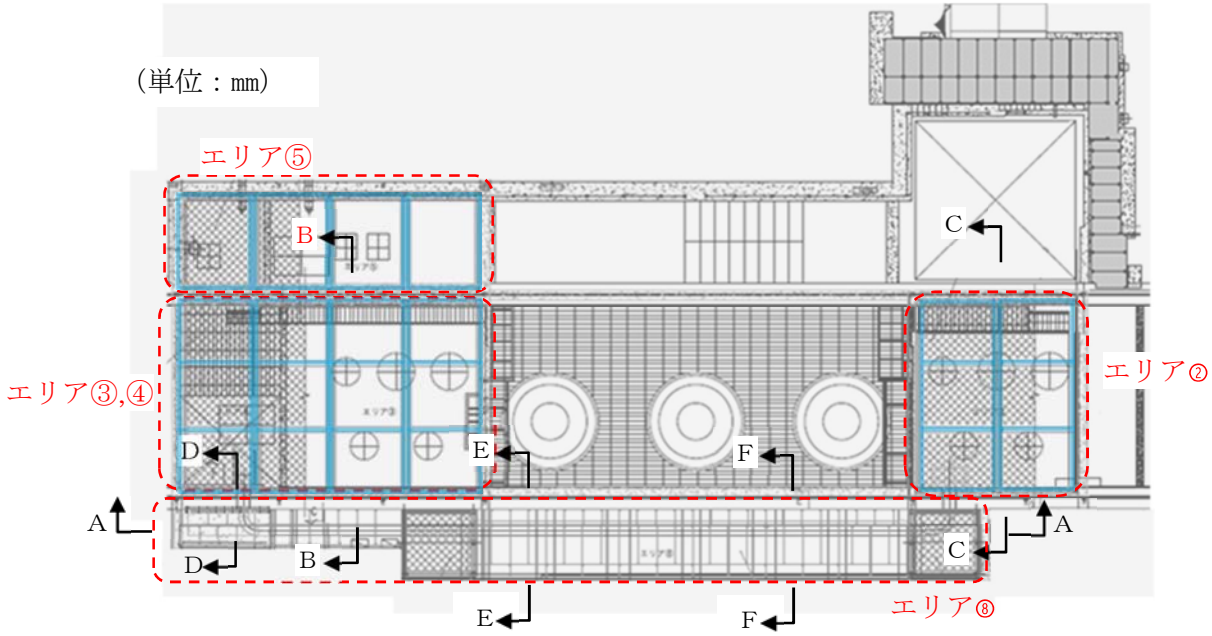
側面図（Ｈ－Ｈ矢視）

図 2-3　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構の構造図(6/6)

(3)　海水ポンプエリア防護対策施設架構

海水ポンプエリア防護対策施設架構は，防護ネット及び防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり，柱，はり等により構成される。

海水ポンプエリア防護対策施設架構の構造図を図 2-4 に示す。



平面図

側面図（A－A矢視）

図 2-4　海水ポンプエリア防護対策施設架構の構造図(1/2)

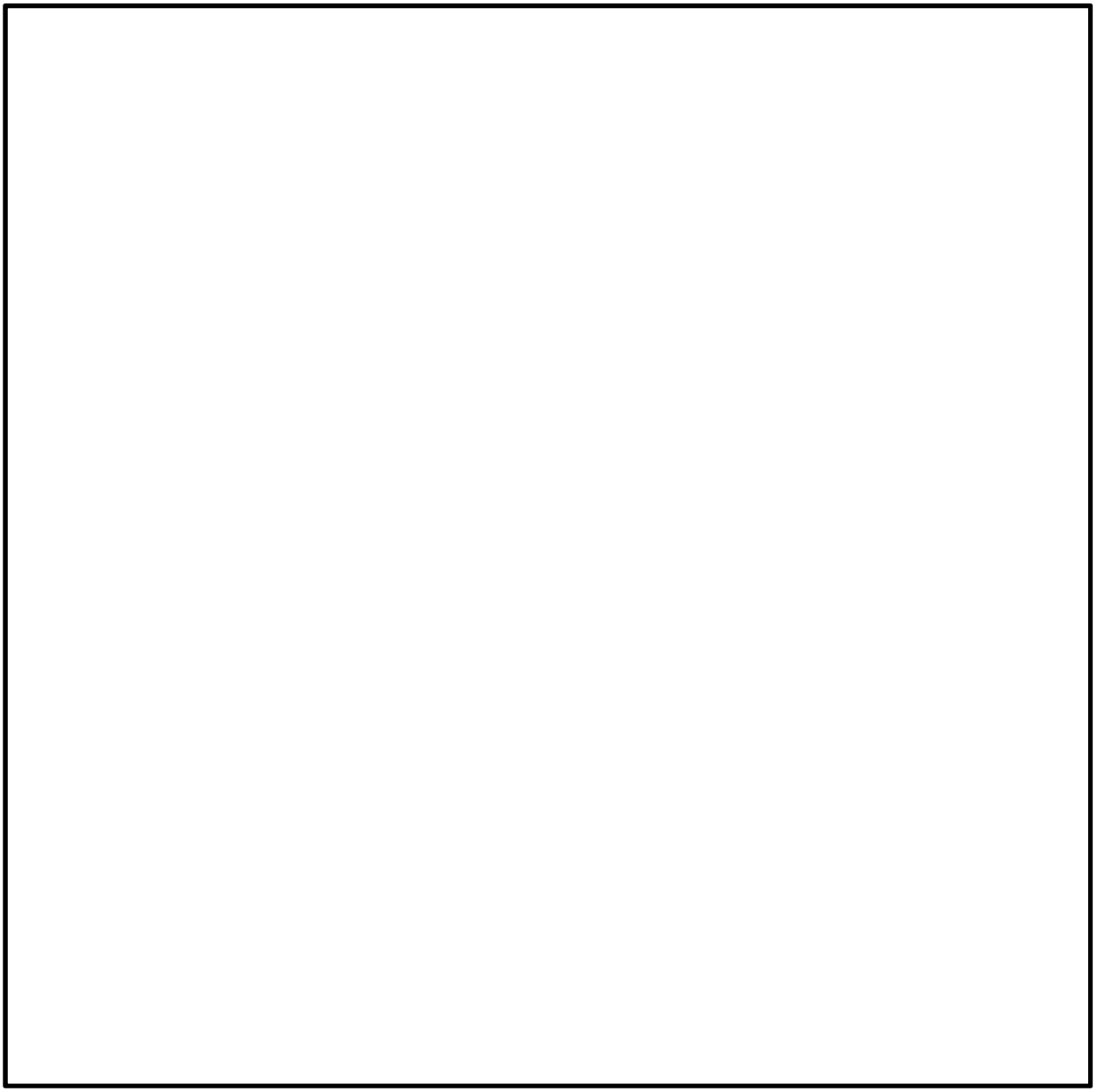


図 2-4　海水ポンプエリア防護対策施設架構の構造図(2/2)

(4)　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構

原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構は，防護ネット及び防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり，外部事象防護対象施設である原子炉建屋外側ブローアウトパネル及び原子炉建屋原子炉棟 6 階設置設備（使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁）を内包する施設として柱，はり等により構成される。

原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構の構造図を図 2-5 に示す。

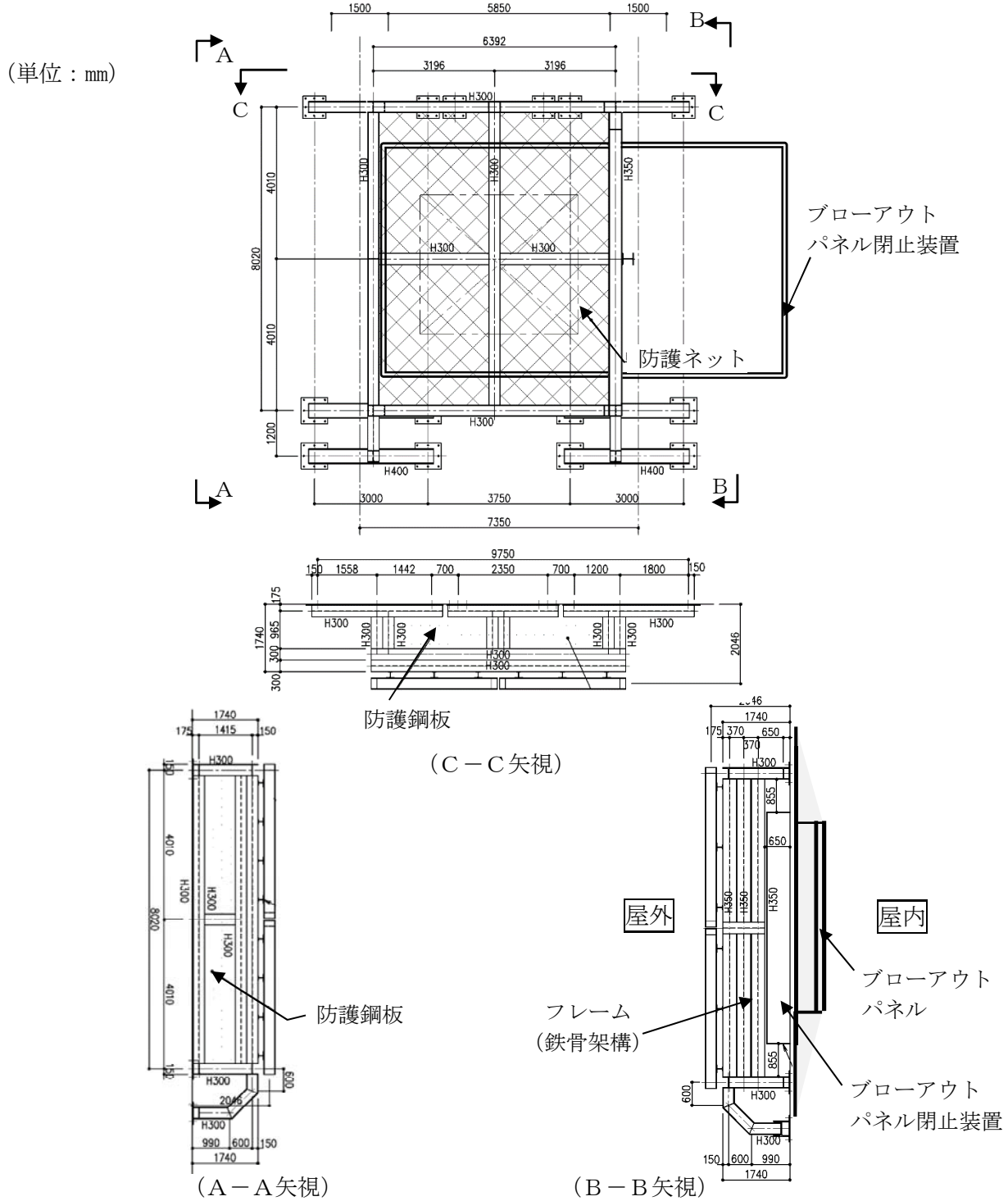


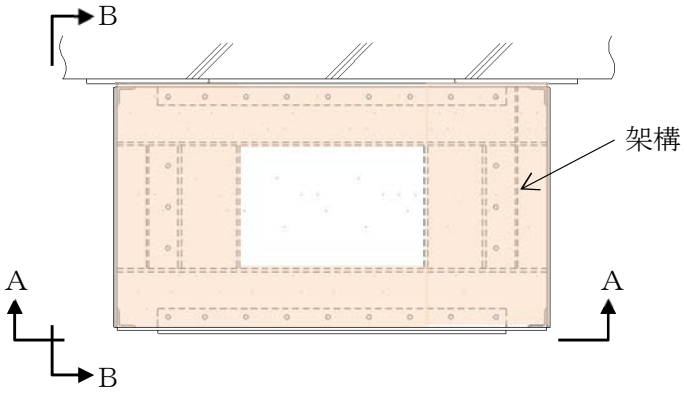
図 2-5　原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構の構造図

(5)　中央制御室換気系開口部防護対策施設架構

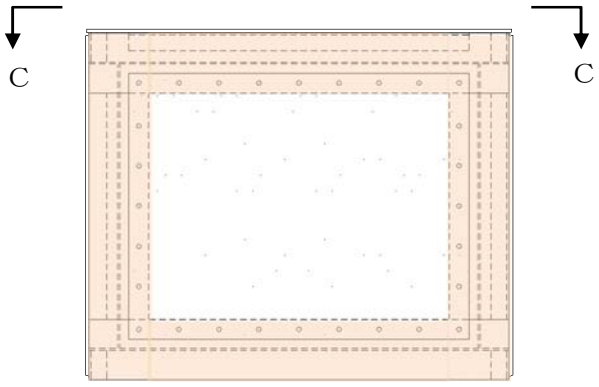
中央制御室換気系開口部防護対策施設架構は，防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり，外部事象防護対象施設である中央制御室換気系隔離弁等を内包する施設として柱，はり等により構成される。

中央制御室換気系開口部防護対策施設架構の構造図を図 2-6 に示す。

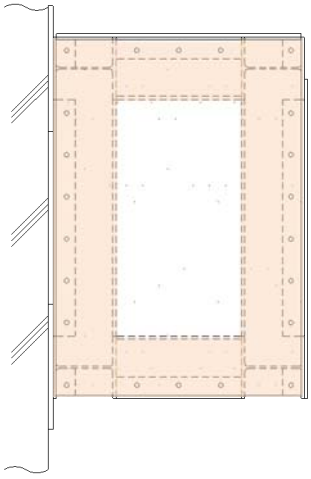
（単位：mm）



上面（C－C矢視）



側面（A－A矢視）



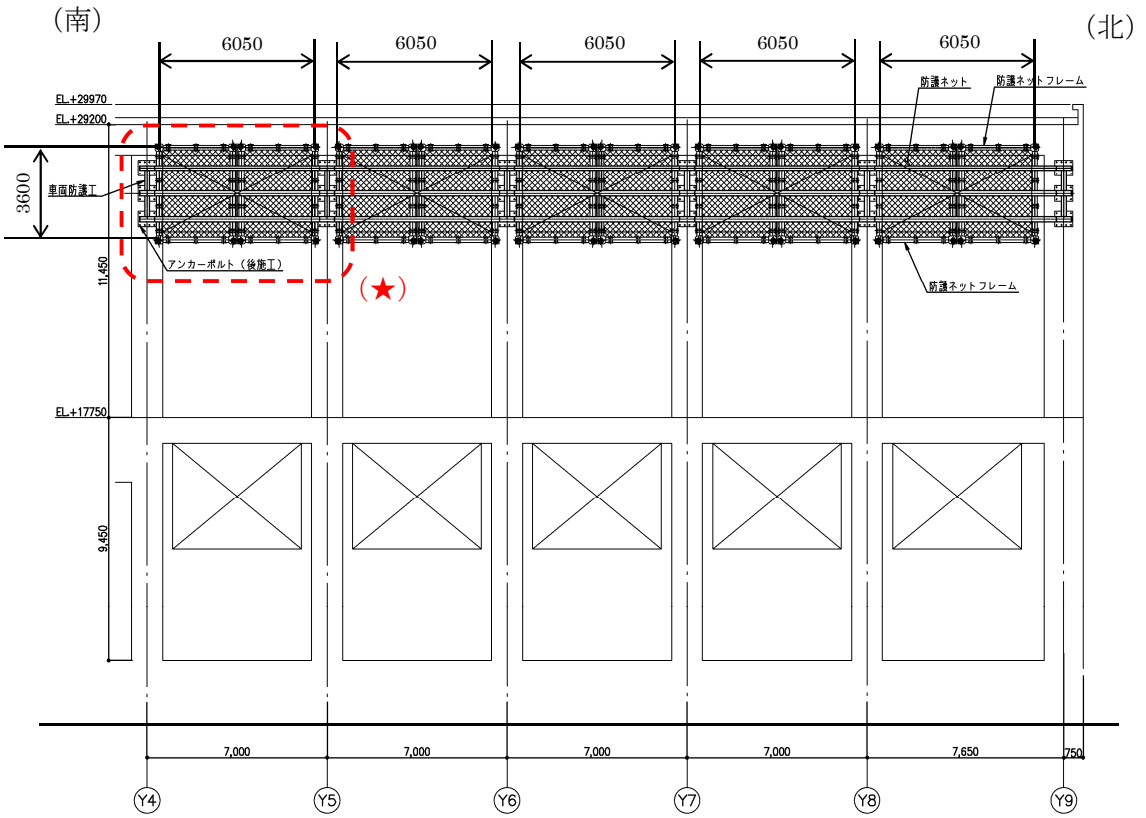
側面（B－B矢視）

図 2-6　中央制御室換気系開口部防護対策施設架構の構造図

(6)　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構

使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構は，防護ネットの取付枠となる部分及び車両防護柵としての機能を有する部分からなる鉄骨構造であり，柱，はり等により構成される。

使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構の構造図を図 2-7 に示す。



建屋側面図（東側壁面）

図 2-7　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構の構造図(1/3)

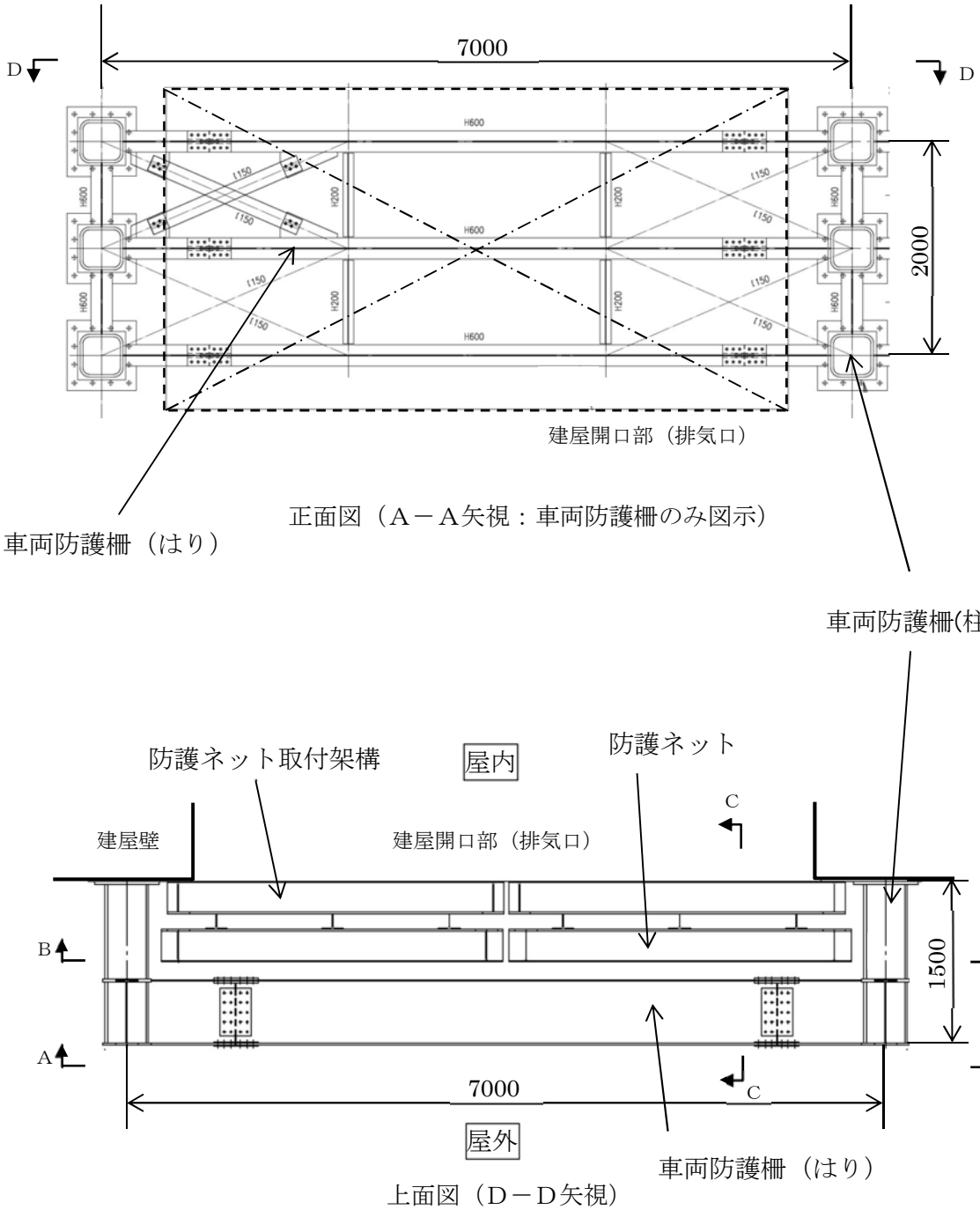
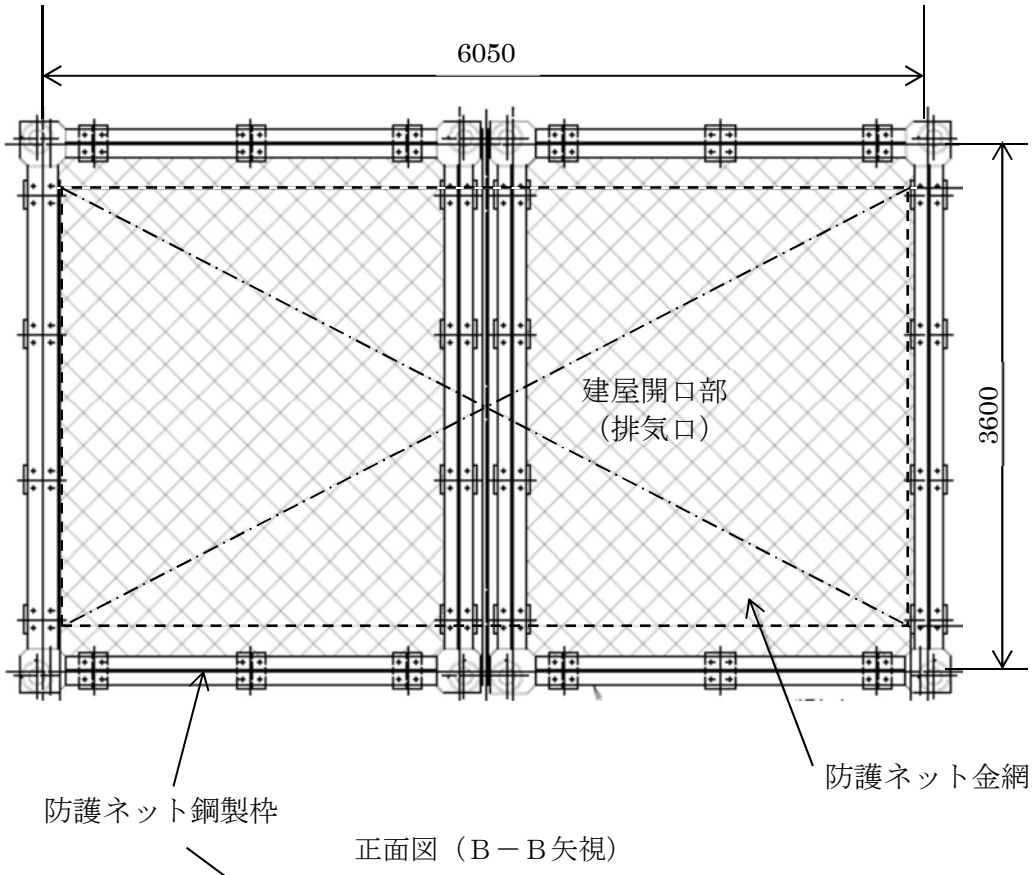
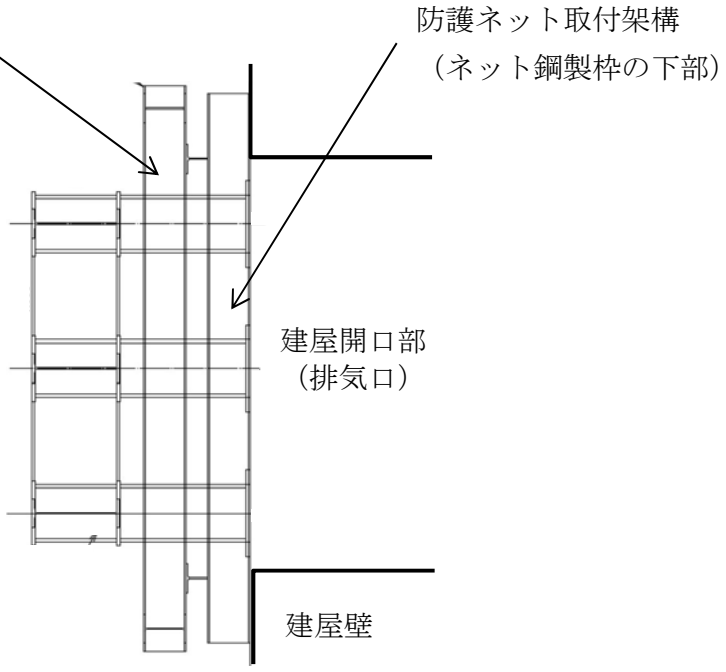


図 2-7　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構の構造図(2/3)
（★部拡大図）



正面図（Ｂ－Ｂ矢視）



側面図（Ｃ－Ｃ矢視）

図 2-7　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構の構造図(3/3)
（★部拡大図）

2.3　評価方針

架構の強度計算は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.　許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，架構の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

架構の評価フローを図 2-8 に示す。

架構の強度評価においては，その構造を踏まえて，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

具体的には，設計荷重に対して，外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が架構を構成する柱，はり等の部材（以下「架構部材」という。）を貫通し外部事象防護対象施設へ衝突しないことを確認するための，架構部材に対する貫通評価を実施する。また，架構に上載する防護ネット及び防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有することを確認するための，架構部材及び架構全体に対する支持機能評価を実施する。

さらに，設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重並びにその他の荷重に対し，架構が倒壊し外部事象防護対象施設に機械的な波及的影響を与えないことを確認するための，波及的影響評価を実施する。

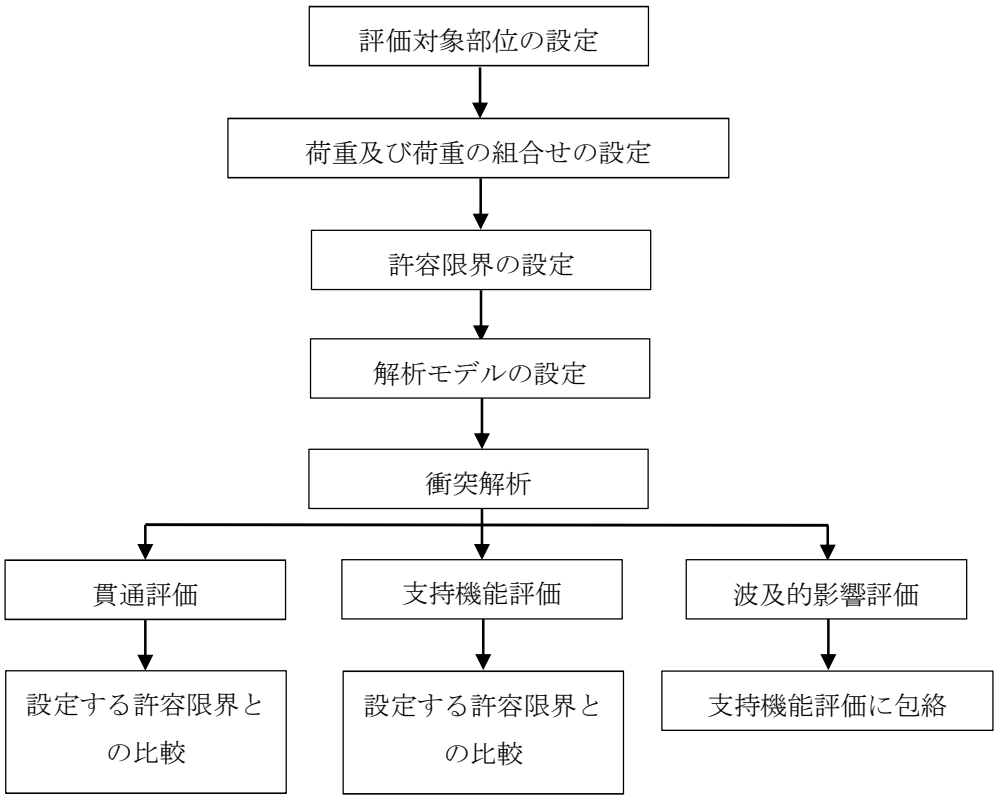


図 2-8　架構の評価フロー

以下に，これらの評価にて確認する評価項目を示す。

(1) 貫通評価

飛来物の架構への直接衝突により，架構部材（母材部）を飛来物が貫通しないことを確認する。

(2) 支持機能評価

a. 架構部材の支持機能評価

飛来物の架構，防護ネット及び防護鋼板への衝突において，架構部材（母材部）に全断面欠損に至るようなひずみが生じないよう，十分な余裕を持った強度が確保されていることを確認する。

b. 架構全体の支持機能評価

飛来物が衝突した際の衝撃荷重により架構全体に作用する応答加速度に対して，防護対策施設の倒壊に至るような架構の変形が生じないよう，架構及び架構と建屋等の接合部に十分な余裕を持った強度が確保されていることを確認する。

なお，海水ポンプエリア竜巻防護対策施設架構のうち，エリア⑧の架構の全体に対する支持機能評価については，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-1-10-1　建屋及び構造物の強度計算書」における既設部架構部材（鉄骨）の損傷を仮定した場合の評価に包含されるため，評価を省略する。エリア②～⑤の防護ネット取付架構の部材については，ネットの正面方向からの飛来物の衝突に対しては，架構部材の下の海水ポンプ室全体で荷重を受け止めるため架構部材の著しい変形は生じず，また側方からの衝突についても，これらの衝突方向に対する架構部材の衝突面は，柱材一本の側面のみでありその面積は僅かであることから（図 2-4 参照），設計飛来物が衝突する可能性は極めて低いと考えられる。仮に衝突が生じた場合でも，衝突を受けた部位を除く 3 辺の架構部材によりネットは保持されるものと考えられるため，支持機能評価に関しては対象外とする。

また，使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の防護ネット取付架構の部材については，海水ポンプエリアのエリア②～⑤同様に，ネットの正面方向から飛来物の衝突に対しては，架構部材後方の建屋壁面全体で荷重を受け止めるため架構部材の著しい変形は生じず，また側方若しくは上方からの衝突についても，これらの衝突方向に対する架構部材の衝突面は，柱材一本の側面のみでありその面積は僅かであることから（図 2-7 参照），設計飛来物が衝突する可能性は極めて低いと考えられる。仮に衝突が生じた場合でも，衝突を受けた部位を除く 3 辺の架構部材によりネットは落下せず保持されるものと考えられるため，支持機能評価に関しては対象外とする。なお，仮に衝突により防護ネットが壁面から落下すると想定した場合でも，図 2-9 に示すとおり，施設直下には外部事象防護対象施設が存在せず波及的影響を及ぼすことはない。

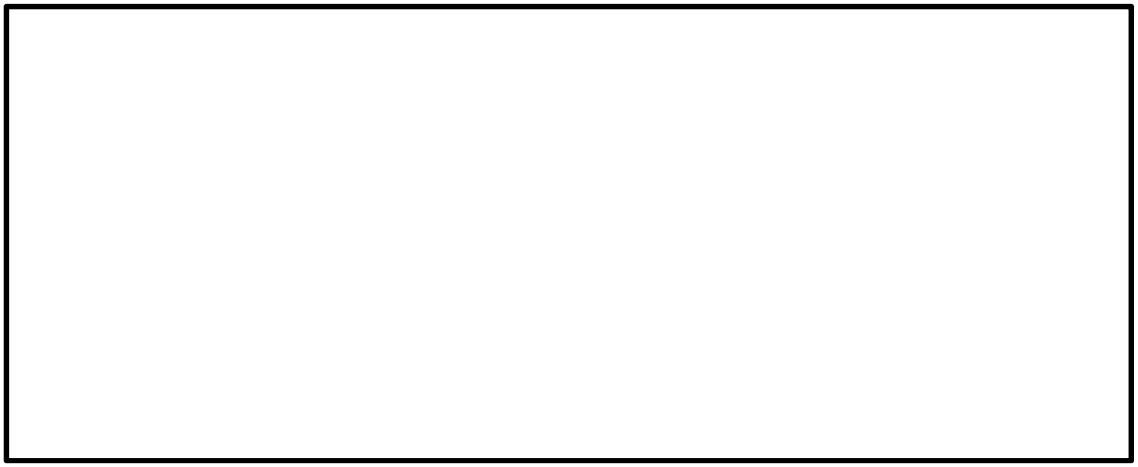


図 2-9　使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設周辺の状況

(3)　波及的影響評価

波及的影響評価については，「2.3(2)　支持機能評価」の評価に同じ。

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「ＪＳＭＥ」という。）
・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」，「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987」，「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（社）日本電気協会（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）
・日本工業規格(ＪＩＳ)
・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004 改定）
・「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（（社）日本建築学会，2005 改定）
・「鋼構造接合部設計指針」（（社）日本建築学会，2012 改定）
・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8(NEI 07-13))
・「伝熱工学資料（改訂第 4 版）」（（社）日本機械学会，1986）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

3.1.1 荷重の設定

荷重の設定に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の設定に用いる記号

記号	単位	定義
A	m^2	受圧面積
C	－	風力係数
F_d	N	常時作用する荷重
G	－	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	最大接線風速
V_T	m/s	移動速度
W_M	N	飛来物による衝撃荷重
W_W	N	風圧力による荷重
ΔP_{max}	N/m^2	最大気圧低下量
ρ	kg/m^3	空気密度

3.2 評価対象部位

3.2.1 貫通評価

(1) 車両に対する評価

車両防護柵の部材に対する車両の衝突は局部的な事象ではなく，貫通という損傷モードは考慮しない。（「3.2.2 支持機能評価」の中で，曲げに対する破断の有無を評価する）

(2) 鋼製材に対する評価

鋼製材の衝突を想定する架構部材の貫通評価として，飛来物が架構部材に直接衝突した場合についての解析を行う。架構部材の変形が最も大きくなるよう，架構部材のうち，部材厚さが薄く，長さが最短となるものを代表として抽出し解析を行う。

3.2.2 支持機能評価

架構全体の支持機能評価として，飛来物が防護対策設備に衝突した場合の架構全体の支持機能についての評価を行う。

本評価は，ばね質点系でモデル化した飛来物及び防護設備の応答解析結果より算出した，飛来物が衝突した際の衝撃荷重により架構全体に作用する応答加速度を用いた静的解析を行う。

この評価においては，各防護対策施設の架構及びアンカーボルトを評価対象部位として

選定する。

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

3.3.1　荷重の設定

強度評価には以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-2 に示す。

表 3-2　荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m^2)
100	15	85	8900

(1)　風圧力による荷重(W_W)

風圧力による荷重W_Wは，次式により算定する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

設計用速度圧 q は，次式により算定する。

$$q = (1/2)\rho \cdot V_D^2$$

(2)　飛来物による衝撃荷重(W_M)

飛来物による衝撃荷重(W_M)は，表 3-3 及び表 3-4 に示す飛来物の衝突に伴う荷重とする。

また，架構全体の支持機能評価に用いる衝撃荷重は，飛来物の衝突により施設に発生する応答加速度から算出する。応答加速度の算出方法及び結果については，「3.5(2)b.(c) 応答加速度の算出」に示す。

表 3-3　飛来物の諸元

飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)	衝突対象
車両	3.6×2.5×8.6	5000	52	－*	使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設の架構のうち，車両防護柵
鋼製材	4.2×0.2×0.3	135	51	34	上記以外の防護対策施設

注記　＊：建屋排気口からの侵入は，構造上水平方向のみを考慮すれば良い。

表 3-4　飛来物の特性値

飛来物	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比	剛性 (N/m)
車両	―	―	2.94×10^3
鋼製材	2.05×10^5	0.3	―

(3)　常時作用する荷重(F_d)

架構部材の自重，架構に取り付く防護ネット及び防護鋼板等の荷重を考慮する。

3.3.2　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」のとおり，風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5　荷重の組合せ

評価内容		荷重の組合せ
貫通評価		$W_W+W_M+F_d$
支持機能評価	架構部材	
	架構全体	

3.4　許容限界

架構の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「5. 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて，「3.2　評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

貫通評価及び支持機能評価の許容限界を以下に示す。

(1)　貫通評価

飛来物である鋼製材の貫通防止を満足する許容限界として，部材が破断しない飛来物の貫入深さを設定する。架構部材のうちH形鋼はフランジ面を防護施設に対して外向きとして設定していることから，部材せいを貫入深さの許容限界とする。

貫通評価において許容限界とする部材せい位置を図 3-1 に示す。

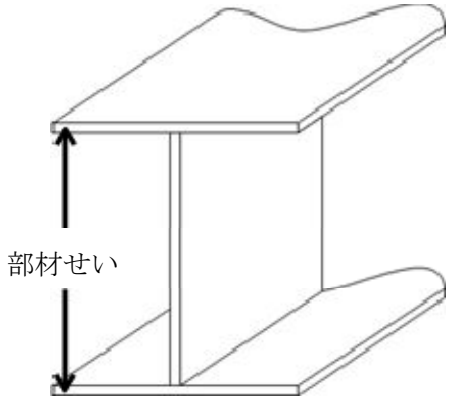


図 3-1　貫通評価における許容限界とする部材せい

(2)　支持機能評価

a.　架構部材の支持機能評価

飛来物が架構及び防護鋼板に衝突する場合は，衝突部において貫通が防止できても，架構部材が曲げ等により破断し架構の支持機能が維持されないことが考えられることから，架構部材の曲げによる破断が生じないことを確認する。

許容限界としては，ＦＥＭ解析を実施しない部材（使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構のうち，車両防護柵）については，発生する応力により判断し，ＦＥＭ解析を実施した部材については，鋼材の破断ひずみを基本として設定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構の車両防護柵の応力については，接触する部材をはりと見なしたモデルに基づき，弾性限界を許容限界として設定する。破断ひずみについては，「4.(1)c.(c)　破断ひずみ」に示すとおり，JIS に規定されている伸びの下限値を基に設定するが，「NEI 07-13 : Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs」（以下「NEI 07-13」という。）においてＴＦ（多軸性係数）を 2.0 とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕としてＴＦ= 2.0 を考慮して設定する。

最大ひずみが破断ひずみを超える場合には，破断箇所を確認し全断面に発生しないことを確認する。

設定した許容限界を表 3-6 に示す。

表 3-6　許容限界(架構部材の支持機能評価)

材質	許容限界	対象
SM490 (16＜t≦40)	降伏応力 (短期許容応力度)	使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構のうち，車両防護柵
SM490 [redacted]	破断ひずみ（真ひずみ） [redacted]	上記以外の防護対策施設

b. 架構全体の支持機能評価

飛来物が架構又は防護鋼板に衝突する場合，衝撃荷重により架構は衝突方向に変位するが，架構の終局耐力以上の荷重が作用した場合は，変位が止まらず倒壊に至る。防護対策施設の倒壊により外部事象防護対象施設に影響を与えないという観点で，許容限界を以下のとおり設定する。

鋼製材若しくは車両の衝突により塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを確認するため，ＪＥＡＧ４６０１に基づき設定した架構の許容応力を表 3-7 に，使用材料の許容応力を表 3-8 に示す。

表 3-7　許容応力(その他の支持構造物)

許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト)	
一次応力				一次応力	
引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
$1.5f_t$	$1.5f_s$	$1.5f_c$	$1.5f_b$	$1.5f_t$	$1.5f_s$

注：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

表 3-8　使用材料の許容応力(単位：N/mm^2)

評価箇所	材料	評価用温度(℃)	S_y*1	S_u*2	許容応力			
					$1.5f_t$	$1.5f_s$	$1.5f_c$	$1.5f_b$
架構	SM400 (5＜t≦16)	40	245	400	245	141	＊3	＊4
	SM490 (5＜t≦16)	40	325	490	325	187		
	SM490 (16＜t≦40)	40	315	490	315	181		
アンカーボルト	S45C (t≦40)	40	490	690	289*5	223*5	—	—

注記　＊1：ＪＳＭＥ　付録材料図表　part5　表8に定める値
＊2：ＪＳＭＥ　付録材料図表　part5　表9に定める値
＊3：ＪＳＭＥ　SSB-3121.1(3)の規定に基づき算出する。
＊4：ＪＳＭＥ　SSB-3121.1(4)の規定に基づき算出する。
＊5：ケミカルアンカーであるため，ＪＥＡＧ４６０１に基づき，その他の支持構造物（ボルト）の許容値から20%低減した値

3.5　評価方法

(1)　車両に対する評価

架構のうち車両防護柵の強度評価は，架構全体の支持機能評価においては，解析コード

「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を用いて，3 次元ＦＥＭモデルによりモデル化し評価を実施する。なお，評価に用いた解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」の検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

(2)　鋼製材に対する評価

鋼製材の衝突を想定する架構の強度評価は，貫通評価及び架構部材の支持機能評価においては，解析コード「ＬＳ－ＤＹＮＡ」を用いて 3 次元ＦＥＭモデルによりモデル化し，架構全体の支持機能評価においては，非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設架構，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構，中央制御室換気系開口部防護対策施設架構及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構においては，解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」によりモデル化し評価を実施する。

なお，評価に用いた解析コード「ＬＳ－ＤＹＮＡ」及び「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」の検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-32　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＬＳ－ＤＹＮＡ」及び添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

(3)　貫通評価

飛来物の衝突による衝突箇所の衝突評価においては，架構の主要部材に飛来物を直接衝突させた解析を行うことで評価する。この評価では，図 3-2 に示すとおり，架構部材の解析モデルの評価対象部位に設計飛来物の解析モデルを衝突させた解析を行う。

飛来物による衝撃荷重は，架構部材の変形が最大となるよう，部材の中央に作用させることを基本とする。

飛来物は，衝突時の荷重が保守的となるようにするため，鋼製材は先端部（衝突部）を開口として接触断面積を小さくモデル化し，自重及び竜巻による風圧力による荷重を作用させた状態で衝突させる。

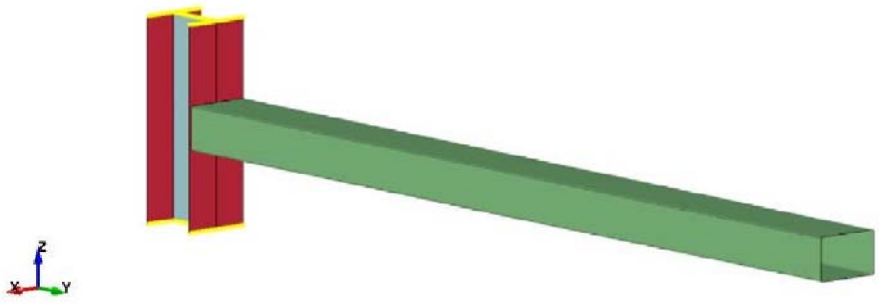


図 3-2 貫通評価モデル図(代表部材モデルと飛来物)

(4) 支持機能評価

a. 架構部材の支持機能評価

飛来物が架構部材に衝突する場合については，「3.5(1) 衝突評価」で評価した解析モデルにおいて，飛来物が架構部材に衝突する場合の架構部材端部に発生するひずみ量を算出し，架構部材端部に破断が生じないことを確認する。飛来物が架構部材に衝突する場合に架構部材端部に破断が生じないことを確認することにより，その部材の近傍の部材についても，破断が生じないことを確認する。

最大ひずみが破断ひずみを超える場合には，破断箇所を確認し全断面に発生しないことを確認する。

b. 架構全体の支持機能評価

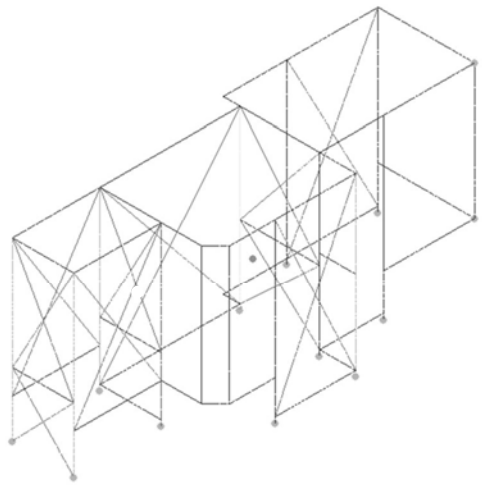
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構及び中央制御室換気系開口部防護対策施設架構，海水ポンプエリア防護対策施設架構及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構においては，架構全体の支持機能評価においては，飛来物が衝突した際の応答加速度を3次元ＦＥＭモデルの質点に入力し，設計竜巻の風圧力による荷重及び自重も考慮した静的解析を実施する。

使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構のうちの車両防護柵においては，車両と車両防護柵を2自由度系のばね質点モデルでモデル化し，両者の応答を連成させた評価により算出した，車両防護柵に生じる応答加速度に基づく荷重を3次元ＦＥＭモデルに入力し，自重も考慮した静的解析を実施する。

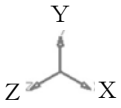
(a) 解析モデル及び諸元

解析モデルは，防護壁を構成する架構部材をはり要素にてモデル化した3次元ＦＥＭモデルとする。架構に取り付けられる防護ネット及び防護鋼板の質量は，解析モデルの中で考慮している。

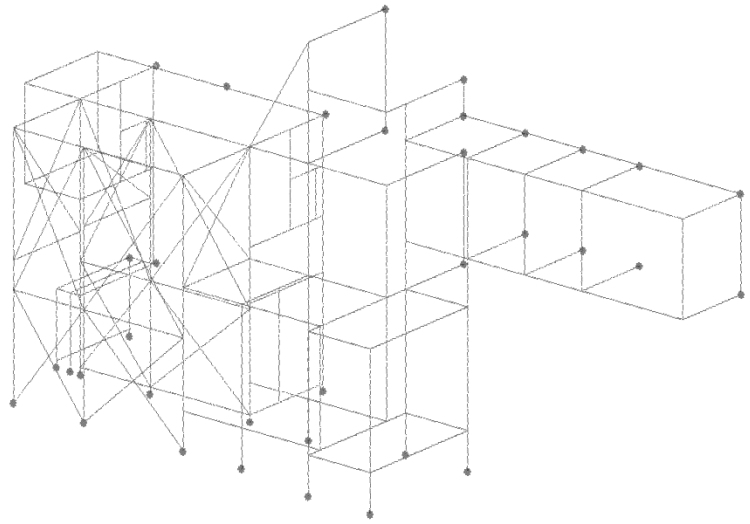
解析モデル図を図3-3～図3-7に，用いられる部材の諸元を表3-9に示す。



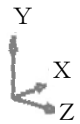
各支持点（●）のアンカーボルト：
8 本（M24）



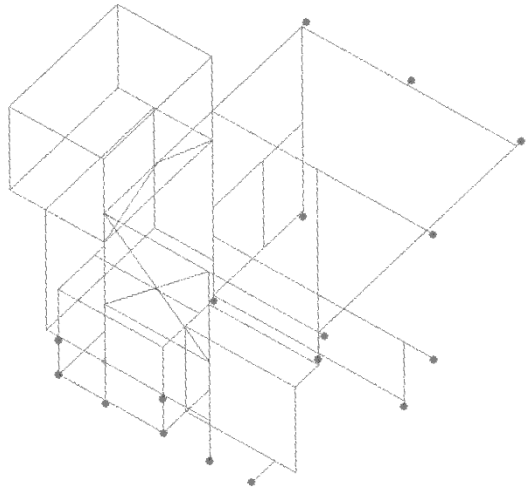
（２Ｄ　非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン）



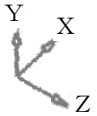
各支持点（●）のアンカーボルト：
4 本（M24）



（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン）



各支持点（●）のアンカーボルト：
8 本（M24）



（２Ｃ　非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン）

図 3-3 解析モデル図(非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構)

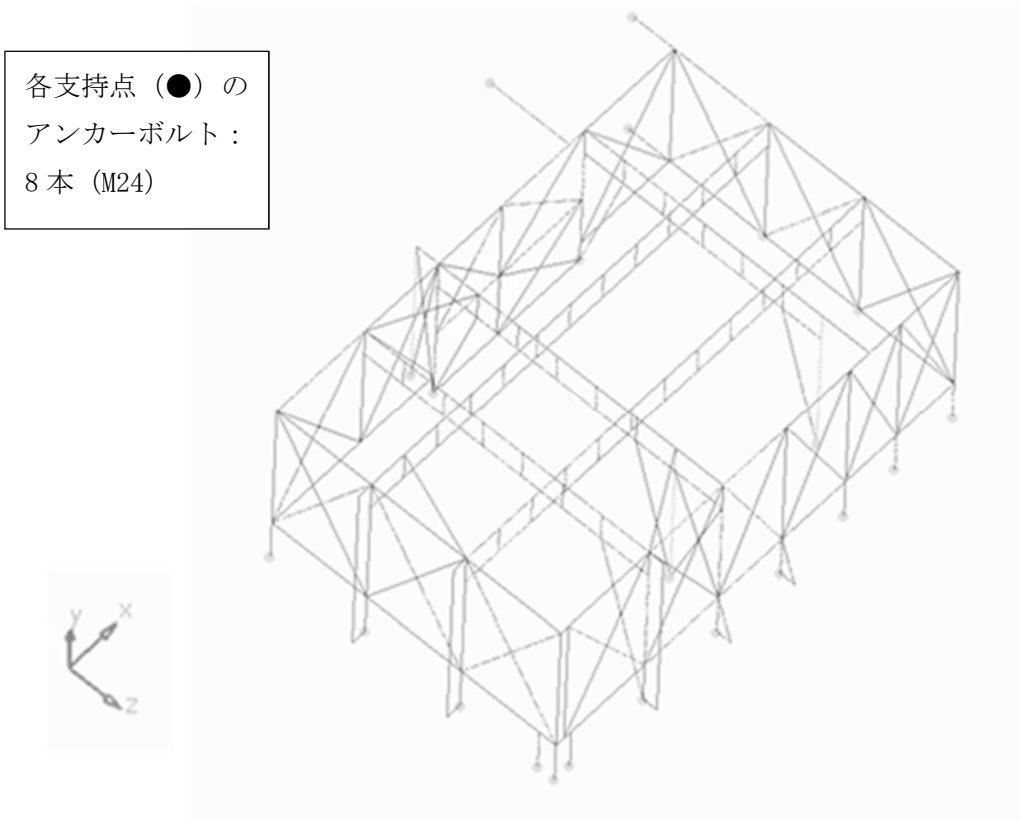


図 3-4　解析モデル図(中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構)

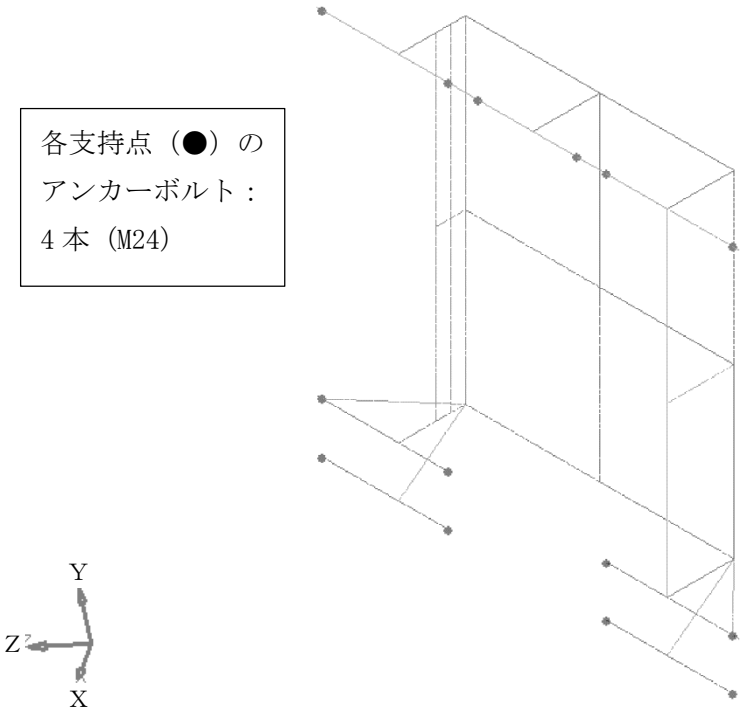


図 3-5 解析モデル図(原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構)

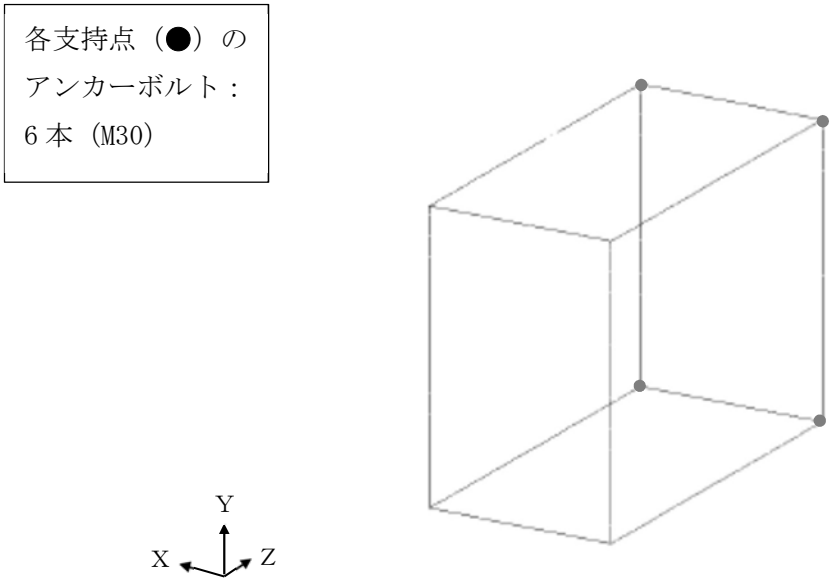


図 3-6 解析モデル図(中央制御室換気系開口部防護対策施設架構)

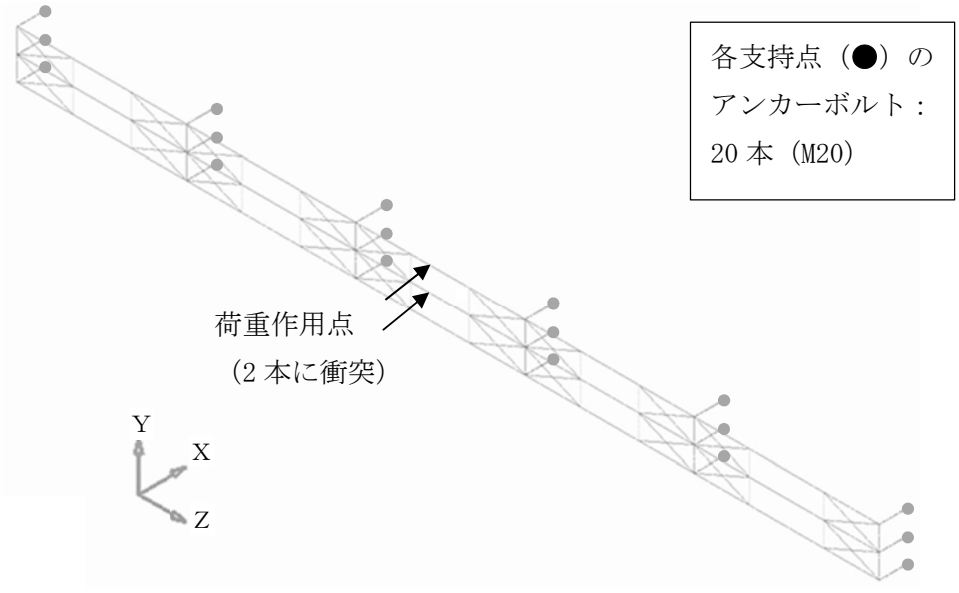


図 3-7　解析モデル図(使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構)

表 3-9　部材の諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	SM400,SM400
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	40
縦弾性係数	E	N/mm^2	2.05×10^5
ポアソン比	ν	－	0.3

(b)　固有値解析

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構，中央制御室換気系開口部防護対策施設架構及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構においては，図 3-3～図 3-6 の解析モデルに対し，解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を用いて，固有値解析を行う。

(c)　応答加速度の算出

設計飛来物の衝突による防護対策施設の応答加速度は，解析コード「ＬＳ－ＤＹＮＡ」を用いて，飛来物をＦＥＭモデル，防護対策施設を図 3-8 に示す 1 自由度のばね質点系でモデル化し，両者の応答を連成させた評価により算出する。飛来物の衝突速度については，水平方向のばね定数については水平方向の飛来速度を，鉛直方向のばね定数については鉛直方向の飛来速度を用いる。なお，飛来物の解析モデル及び材料特性等は「3.5(1) 衝突評価」と同様である。

防護対策施設のばね定数 k は，「3.5(2)b.(b)　固有値解析結果」にて算出した固有振動数 f と防護対策施設の質量Mを用いて以下の式で求める。

$$k = M \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2$$

ここで，固有振動数 f については，各方向において最も刺激係数が大きいモード振動次数のものを選定する。また，防護施設の質量Mについては，応答加速度はばね定数が大きい方が大きくなる傾向であることを踏まえ，防護施設の全体質量とする。

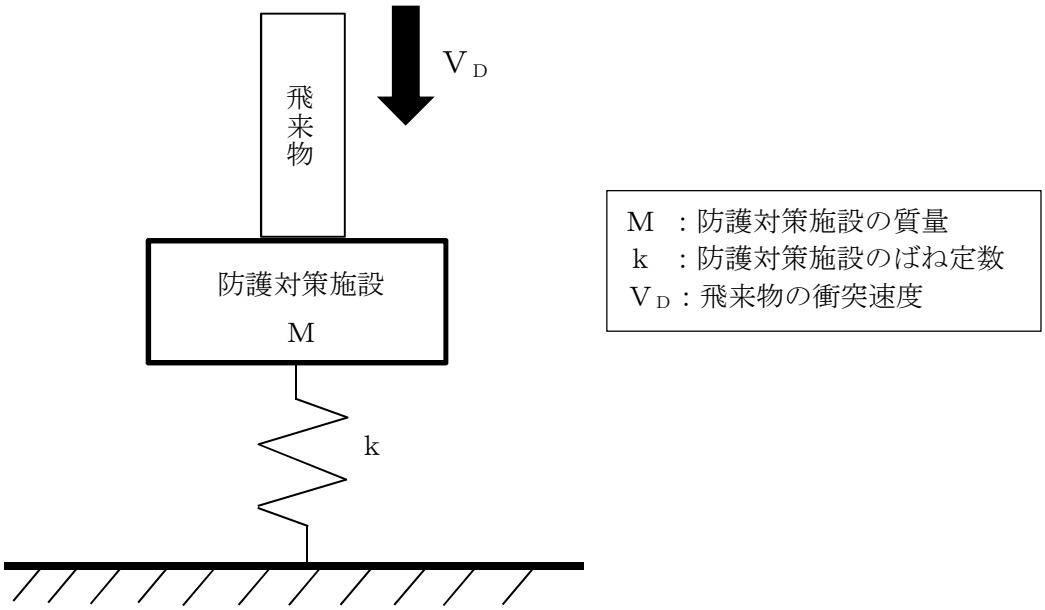


図 3-8　応答加速度評価モデル図

使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構のうち車両防護柵の応答加速度は，車両と車両防護柵を図 3-9 に示す 2 自由度系のばね質点モデルでモデル化し，両者の応答を連成させた評価により算出する。排気ガラリの位置で衝突する車両の衝突速度については，水平方向の飛来速度を用いる。

車両防護柵に作用する加速度 $\ddot{x}_1$ は，以下の式で求められる。

$$\ddot{x}_1 = \frac{m_n \cdot (v_2 - v_1)}{m_1} \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

ここで，

$$m_n = \frac{m_1 \cdot m_2}{(m_1 + m_2)}$$

$$\omega = \sqrt{k_n / m_n}$$

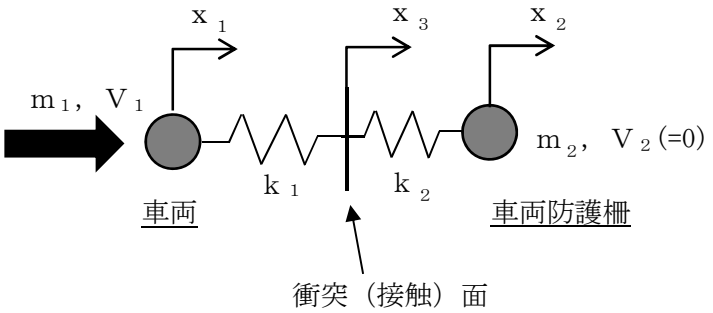
$$k_n = \frac{k_1 \cdot k_2}{(k_1 + k_2)}$$

これより，加速度 $\ddot{x}_1$ の最大値 $\ddot{x}_{1m}$ は以下のとおりとなる。

$$\ddot{x}_{1m} = \frac{m_n \cdot (v_2 - v_1)}{m_1} \cdot \omega$$

本評価においては，車両防護柵に作用する加速度の最大値 $\ddot{x}_{1m}$ は車両防護柵のはりの中心における加速度として与えられ，当該加速度にはりの全質量を乗じて，車両防護柵に作用する荷重を算定する。なお，実際にははりの両端が拘束されていることから，中心から離れたはりの部位に働く加速度は，図 3-10 に示す様にはりの中心の加速

度$\ddot{x}_{1m}$より小さくなる。このため，はりの全質量にはり中心の加速度$\ddot{x}_{1m}$を乗じて荷重を算定することには，保守性が確保されている。



m：質量 k ：ばね定数 x ：（衝突時の）初期位置からの変位 V ：（衝突時の）初期速度

図 3-9　2 自由度系のばね質点モデル図

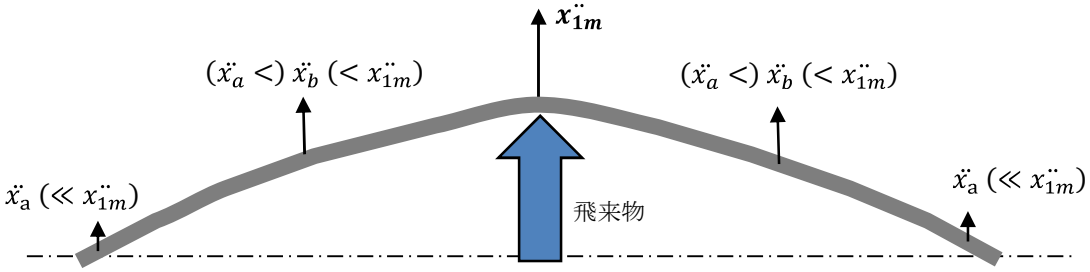


図 3-10　はりに作用する加速度の分布イメージ

(d)　各部材の発生応力の算出

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構及び中央制御室換気系開口部防護対策施設架構，海水ポンプエリア防護対策施設架構，原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構及び使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構においては，架構全体の支持機能評価においては，「3.5(2)b.(c)　応答加速度の算出」で算出した飛来物が衝突した際の応答加速度を図 3-3～図 3-7 に示す 3 次元ＦＥＭモデルに入力し，設計竜巻の風圧力による荷重及び自重も考慮した静的解析により，各部材に生じる曲げモーメント，せん断力及び軸力を算出し，評価対象部位の発生応力を求め，許容限界に収まっていることを確認する。架構の応力計算式を表 3-10 に，アンカーボルトの応力計算式を表 3-11 に示す。

表 3-10　架構の応力計算式

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		N/mm^2	$\frac{N_t}{A}$
圧縮応力 σ_c		N/mm^2	$\frac{N_c}{A}$
曲げ応力 σ_{by}，σ_{bz}		N/mm^2	$\frac{M_y}{Z_y}$ ， $\frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ_y，τ_z		N/mm^2	$\frac{Q_y}{A_{sy}}$ ， $\frac{Q_z}{A_{sz}}$
組合せ応力	圧縮＋曲げ	－	$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5f_c}+\frac{\sigma_{bx}+\sigma_{by}}{1.5f_b} \ , \ \frac{\sigma_{bx}+\sigma_{by}-\sigma_c}{1.5f_t}\right)$
	引張＋曲げ	－	$\max\left(\frac{\sigma_t+\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_t} \ , \ \frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_t}{1.5f_b}\right)$
	曲げ＋せん断	－	$\max\left(\frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_z^2}}{1.5f_t} \ , \ \frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_y^2}}{1.5f_t}\right)$ 軸力が引張の場合は，σ_c を σ_t とする。

ここで，

A	：断面積(mm^2)
Z_y，Z_z	：断面係数(y，z 軸回り)(mm^3)
A_{sy}，A_{sz}	：せん断断面積(y，z 軸方向)(mm^2)
N_t，N_c	：軸力(引張，圧縮)(N)
M_y，M_z	：曲げモーメント(y，z 軸回り)(N･mm)
Q_y，Q_z	：せん断力(y，z 軸方向)(N)
y，z	：部材の軸（x 軸）に直交する 2 方向

表 3-11　ボルトの応力計算式

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_b		N/mm^2	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ_b		N/mm^2	$\frac{\sqrt{F_y^2+F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	せん断＋引張	―	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで,

F_x, F_y, F_z　：引張力(x 軸), せん断力(y 軸, z 軸)(N)

A_b　：ボルトの断面積(mm^2)

4. 評価条件

(1) 衝突評価及び架構部材の支持機能評価

a. 使用材料及び寸法

衝突評価の代表として選定する架構部材の仕様を表 4-1 に，飛来物の仕様を表 4-2 に示す。

表 4-1 架構部材の仕様

評価対象	評価部材番号	寸法	評価方法	材質
・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構 ・中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構 ・原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構 ・中央制御室換気系開口部防護対策施設架構	①-1	H-300×300×10×15 長さ：900	貫通評価 （部材せい：300）	SM490
	①-2	H-300×300×10×15 長さ：6050	支持機能評価	
	①-3	H-300×300×10×15 長さ：8020	支持機能評価	
・海水ポンプエリア防護対策施設架構	②-1	[redacted] 長さ：1250	貫通評価 （部材せい：[redacted]）	SM400
	②-2	[redacted] 長さ：8915	支持機能評価	
	②-3	[redacted] 長さ：10320		

表 4-2 飛来物の仕様

飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	材質
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	SS400
車両	3.6×2.5×8.6	5000	—*1

注記 ＊1：車両の剛性は 2.94×10^6 N/m とする。

b. 材料定数

飛来物及び架構部材に使用する鋼材の材料定数を表 4-3 に示す。

材料定数は，ＪＩＳ及び「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（社）日本建築学会(2005 改定)」に基づき設定する。

表 4-3　使用材料の材料定数

	材質	厚さ (mm)	降伏応力 σ_y (N/mm^2)	ヤング係数 E(N/mm^2)	ポアソン比
鋼製材	SS400	5 を超え 16 以下	245	2.05×10^5	0.3
架構部材	SM400			2.05×10^5	0.3
	SM490	5 を超え 16 以下	325	2.05×10^5	0.3

c. 動的解析における鋼製材料の非線形特性

飛来物の衝突に対する動的解析を行う場合は，衝撃問題で変形速度が大きいため，ひずみ速度効果を考慮する。

(a) 材料の応力－ひずみ関係

以下に示す Cowper－Symonds の式を適用する。

$$\sigma_{eq}=\left(A+B\,\varepsilon_{pl}^{\,n}\right)\left\{1+\left(\dot{\varepsilon}_{pl}/D\right)^{1/q}\right\}$$

ここで，σ_{eq}は動的応力，Ａは降伏応力，Ｂは硬化係数，ε_{pl}は相当塑性ひずみ，$\dot{\varepsilon}_{pl}$は無次元相当塑性ひずみ速度，ｎは硬化指数，Ｄ及びｑはひずみ速度係数を表す。これらのパラメータを表 4-4 に示す。これらのパラメータは，日本溶接協会の動的物性の推定式（WES 式）にフィッティングする様に選定した。

表 4-4　Cowper-Symonds 式への入力パラメータ

	飛来物 (鋼製材)	架構部材	
材料	SS400	SM400	SM490
B			
n			
D(s^{-1})			
q			

材料の応力－ひずみ関係はバイリニア型とする。

バイリニア型応力－ひずみ関係の概念図を図 4-1 に示す。

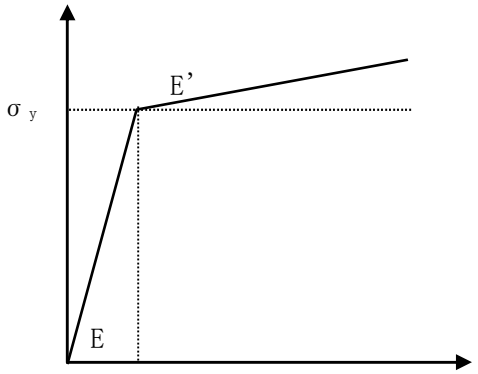


図 4-1　バイリニア型応力－ひずみ関係の概念図

(b)　破断ひずみ

破断ひずみは，JIS に規定されている伸びの下限値を基に設定する。また，「NEI 07-13」においてＴＦ（多軸性係数）を 2.0 とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕としてＴＦ=2.0 を考慮する。ＴＦについては，架構のみ 2.0 とする。

なお鋼製材は，保守的に破断ひずみを超えても要素を削除せず，荷重を負担するものとする。

材料ごとの破断ひずみを表 4-5 に示す。

表 4-5　架構部材の破断ひずみ

ケース	材質	JIS 規格値 (伸び)	ＴＦ	破断ひずみ*
1	SM400		2.0	0.081
2	SM490		2.0	0.081

注記　＊：真ひずみ換算値

(2) 架構全体の支持機能評価

a. 使用材料及び寸法

各架構に用いられる材料及び寸法は，表 4-1 で評価した部材の条件から逸脱しない様に選定する。

なお，衝突評価を実施しない，使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構（車両防護柵）については，表 4-6 のとおりとする。

表 4-6　架構の使用材料及び寸法の仕様

評価対象	評価部材番号	仕様	材質
使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構（車両防護柵）	③-1	H-600×200×11×17	SM490

b. 材料定数

架構の使用材料の材料定数を表 4-7 に示す。

表 4-7　架構の使用材料の材料定数

材料	単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比
SM400	77	2.05×10^5	0.3
SM490	77	2.05×10^5	0.3

c. 固有振動数

固有振動数を算出する架構における値を，表 4-8～表 4-13 に示す。

表 4-8　固有振動数(２Ｃ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設架構)

次数	質量 (kg)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			卓越方向
				X 方向	Y 方向	Z 方向	
1	3.32×10^4	13.530	0.07391	2.48	-0.517	-0.483	X 方向
5		23.217	0.04307	-0.022	-2.06	1.65	Y 方向
11		32.643	0.03063	0.926	-0.355	-2.83	Z 方向

表 4-9　固有振動数(２Ｄ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設架構)

次数	質量 (kg)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			卓越方向
				X 方向	Y 方向	Z 方向	
6	4.16×10^4	18.834	0.0531	3.69	-0.11	0.14	X 方向
7		21.787	0.0459	0.32	-0.05	-3.40	Z 方向
31		42.496	0.0235	-0.20	-1.26	0.32	Y 方向

表 4-10　固有振動数(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設架構)

次数	質量 (kg)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			卓越方向
				X 方向	Y 方向	Z 方向	
3	7.33×10^4	16.776	0.0596	-0.661	0.112	5.95	Z 方向
4		19.787	0.0505	-2.90	0.101	-0.789	X 方向
14		25.443	0.0393	1.13	-1.56	0.424	Y 方向

表 4-11　固有振動数(中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構)

次数	質量 (kg)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			卓越方向
				X 方向	Y 方向	Z 方向	
1	1.21×10^5	6.055	0.1652	8.11	-0.11	-0.23	X 方向
2		6.674	0.1498	0.16	0.06	7.52	Z 方向
55		15.974	0.0626	-0.46	3.10	1.36	Y 方向

表 4-12　固有振動数(原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構)

次数	質量 (kg)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			卓越方向
				X 方向	Y 方向	Z 方向	
1	2.90×10^4	10.834	0.0923	3.17	0.499	-0.266	X 方向
3		13.957	0.0716	-0.974	-0.113	3.79	Z 方向
4		16.830	0.0594	-0.785	4.38	-0.031	Y 方向

表 4-13　固有振動数(中央制御室換気系開口部防護対策施設架構)

次数	質量 (kg)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			卓越方向
				X 方向	Y 方向	Z 方向	
1	3.31×10^3	122.863	0.0081	0.00	-1.26	0.00	Y 方向
3		160.005	0.0063	0.00	0.00	1.21	Z 方向
8		269.641	0.0037	0.70	-0.02	0.00	X 方向

d.　応答加速度若しくは作用荷重

架構の応答加速度（使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構のうち車両防護柵においては，梁材１本当たりの作用荷重）を，表 4-14 に示す。

表 4-14　各架構の応答加速度

架構	飛来物	応答加速度(m/s^2)		
		水平		鉛直
		X 方向	Z 方向	Y 方向
２Ｃ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設	鋼製材	17.28	16.66	19.95
２Ｄ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設	鋼製材	17.91	19.73	21.29
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設	鋼製材	10.53	9.343	9.760
中央制御室換気系冷凍機防護対策施設	鋼製材	2.247	2.464	3.900
原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設	鋼製材	16.27	20.32	17.14
中央制御室換気系開口部防護対策施設	鋼製材	450.6	458.6	365.1
使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設（車両防護柵）	車両	1145 kN*	―	―

注記　＊：梁材１本当たりの作用荷重

5. 強度評価結果

5.1 貫通評価

飛来物の架構への貫通評価結果を表 5-1 に示す。

評価部材のすべてのケースにおいて貫入深さが部材せいを下回っており，架構部材の全断面喪失は発生しないため，飛来物が架構部材を貫通し，防護対策施設の内側に侵入することはない。

表 5-1 飛来物の架構部材への衝突評価結果

架構	評価部材番号	飛来物	貫入深さ (mm)	許容限界 (mm)
・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構 ・中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構 ・中央制御室換気系開口部防護対策施設架構 ・原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構	①-1	鋼製材	35	300
海水ポンプエリア防護対策施設架構	②-1	鋼製材	68.4	[redacted]

5.2 支持機能評価

5.2.1 部材の支持機能評価

(1) 架構への衝突時の支持機能評価

飛来物の架構への衝突時の支持機能評価結果を表 5-2 に示す。架構部材端部に生じる最大ひずみが破断ひずみを上回るケースも認められたが，全断面の破断に至ることはなく，部材は支持される。

表 5-2　支持機能評価(架構部材への衝突時)

評価対象	評価部材番号	飛来物	最大ひずみ	許容限界
・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設架構 ・中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構	①-2	鋼製材	＞0.081 ただし，全断面の破断には至らない	≦0.081 若しくは 全断面の破断に至らないこと
・中央制御室換気系開口部防護対策施設架構 ・原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構	①-3		0.042	
海水ポンプエリア防護対策施設架構	②-2	鋼製材	＞0.081 ただし，全断面の破断には至らない	
	②-3		0.066	

5.2.2　架構全体の支持機能評価

(1)　各部材の発生応力の算出

架構各部材に発生する応力の算出結果を表 5-3 に示す。

なお，評価結果は許容応力に対する発生応力の比（検定比）が最も大きいものを記載している。検定比が最大となる点を，図 5-1～図 5-7 に示す。

表 5-3 架構全体の支持機能評価結果

（単位：N/mm²）

	評価部位	応力分類	発生応力	許容限界	備考
２Ｃ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設架構	架構	曲げ＋せん断	178	325	
	アンカーボルト	引張	101	289	
		せん断	5	223	
		組合せ	101	289	
２Ｄ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設架構	架構	曲げ＋せん断	134	325	
	アンカーボルト	引張	111	289	
		せん断	67	223	
		組合せ	111	289	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設架構	架構	曲げ＋せん断	131	325	
	アンカーボルト	引張	181	289	
		せん断	36	223	
		組合せ	181	289	
中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構	架構	曲げ＋せん断	226	325	
	アンカーボルト	引張	105	289	
		せん断	29	223	
		組合せ	105	289	
中央制御室換気系開口部防護対策施設架構	架構	曲げ＋せん断	87	325	
	アンカーボルト	引張	6	289	
		せん断	78	223	
		組合せ	6	279	
原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構	架構	曲げ＋せん断	173	325	
	アンカーボルト	引張	66	289	
		せん断	96	223	
		組合せ	66	251	
使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構（車両防護柵）	架構	曲げ＋せん断	245	315	
	アンカーボルト	引張	125	289	
		せん断	118	223	
		組合せ	57.6	215	

注：ボルトの引張応力とせん断応力との組合せ応力 f_{ts} の許容限界は以下のとおり。

$f_{ts}=\mathrm{Min}\{1.5f_t,\ 1.4\times1.5f_t-1.6\tau\}$　（τ ：ボルトに作用するせん断応力）

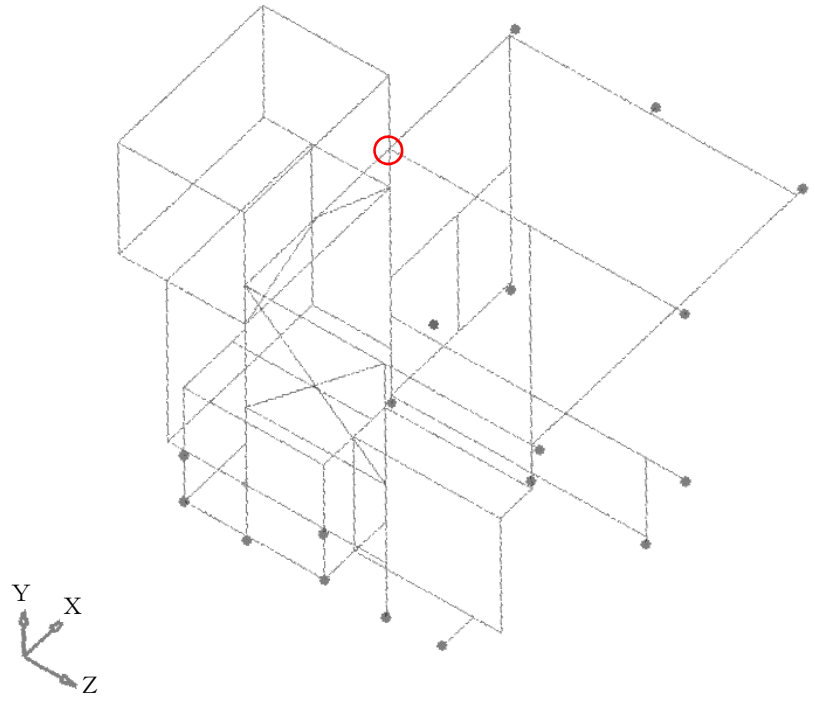


図 5-1　架構の最大検定比発生点（２Ｃ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設架構）

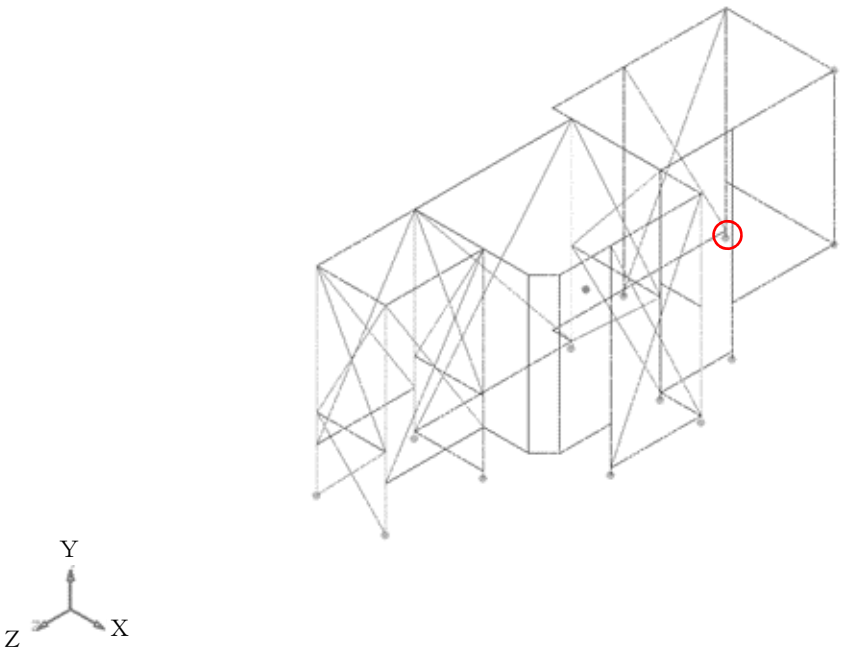


図 5-2　架構の最大検定比発生点（２Ｄ非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設架構）

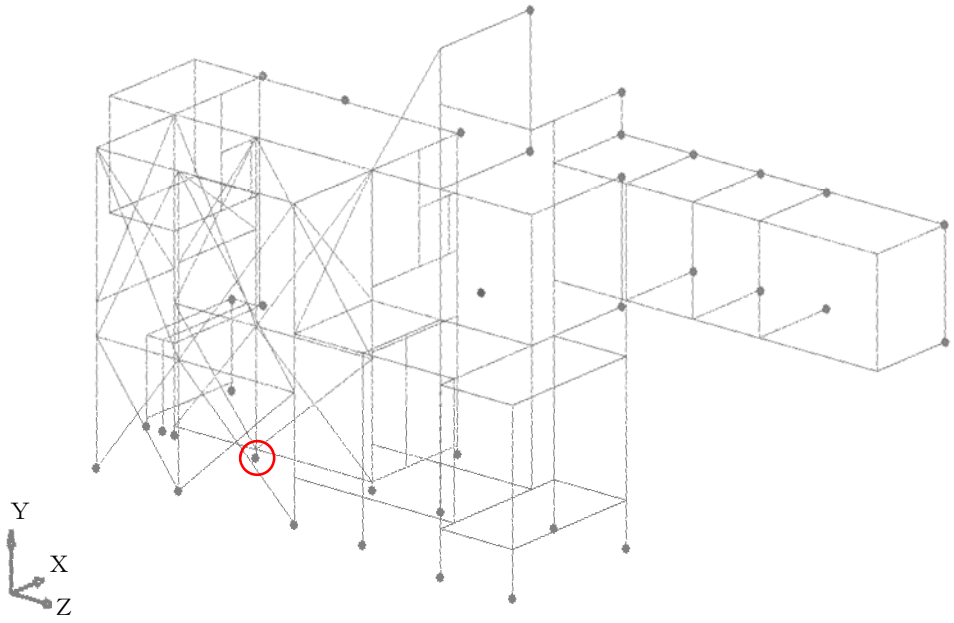


図 5-3　架構の最大検定比発生点（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設架構）

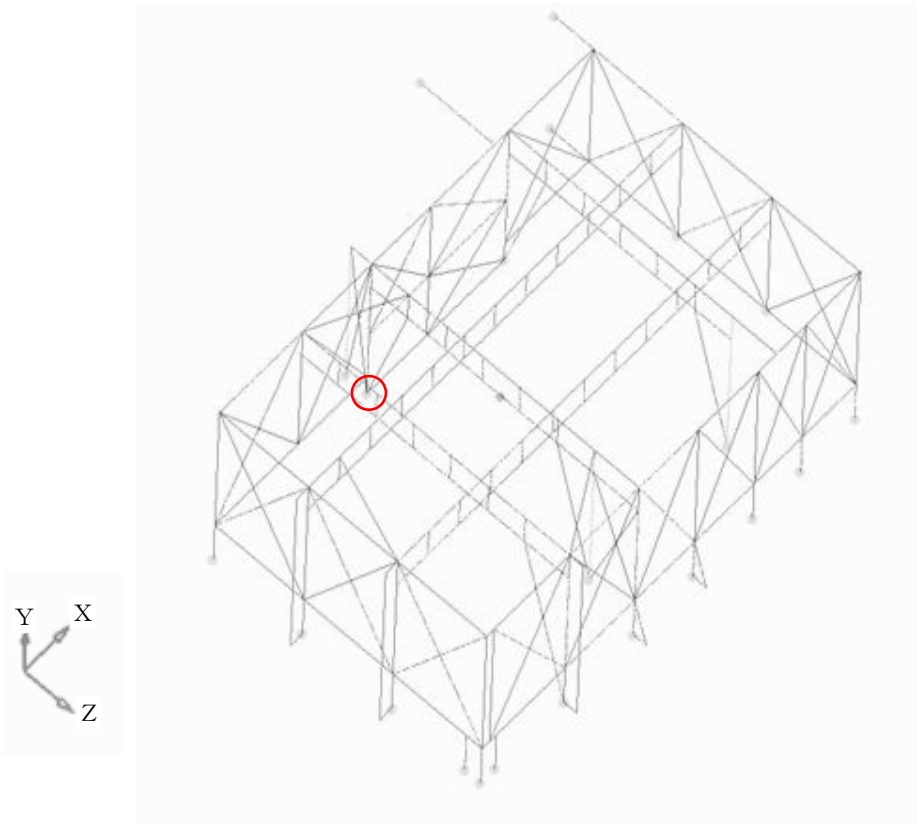


図 5-4　架構の最大検定比発生点（中央制御室換気系冷凍機防護対策施設架構）

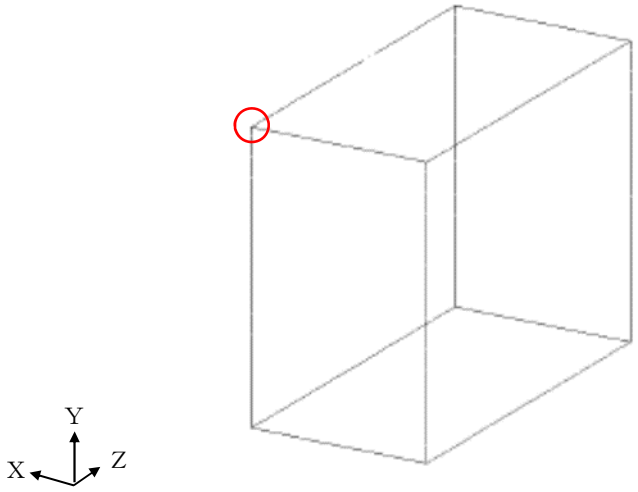


図 5-5　架構の最大検定比発生点（中央制御室換気系開口部防護対策施設架構）

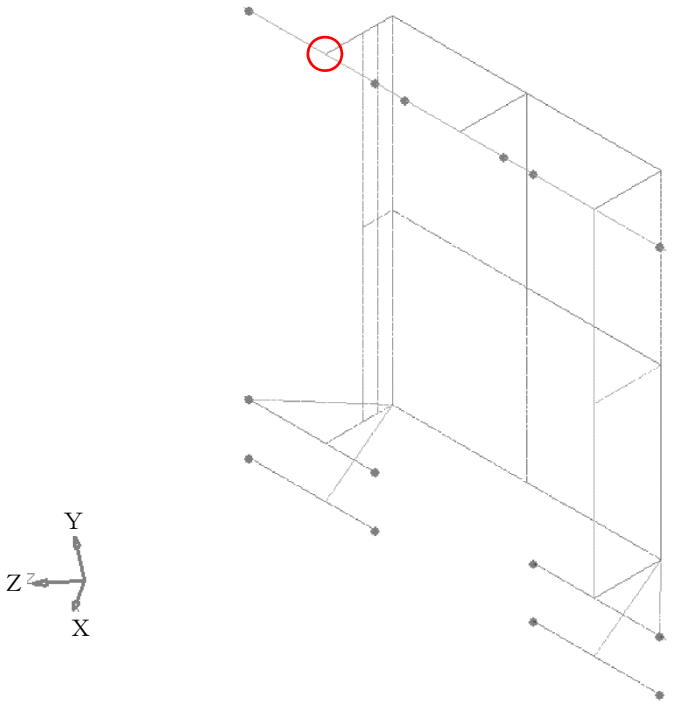


図 5-6　架構の最大検定比発生点（原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設架構）

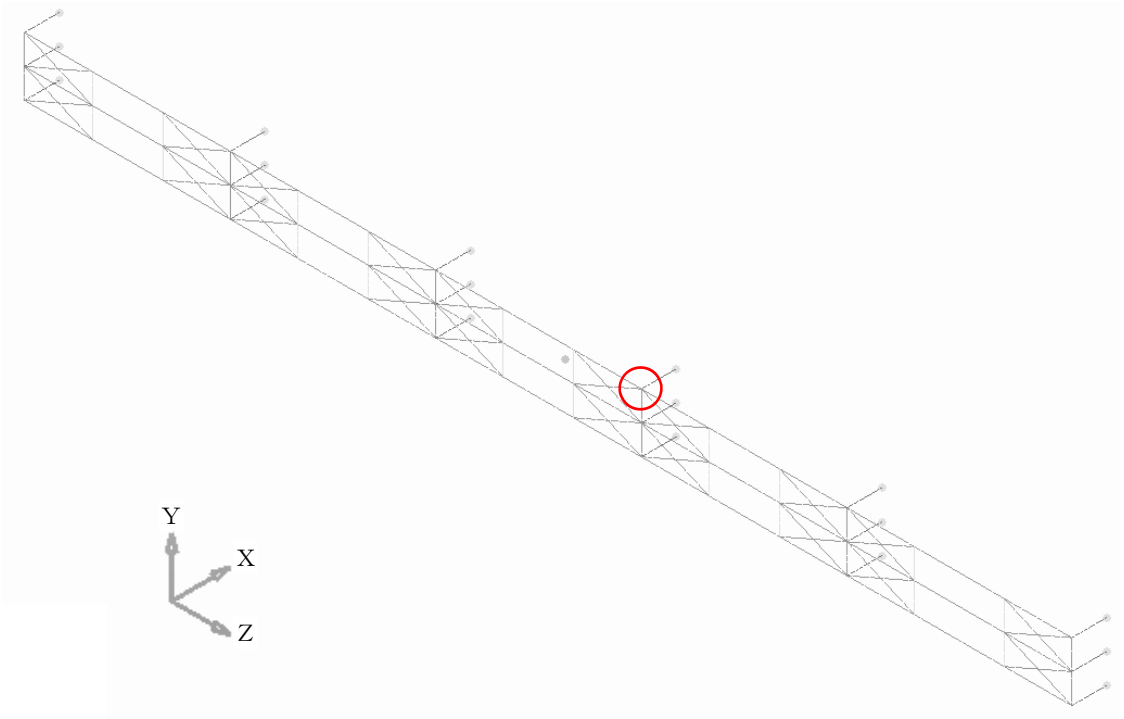


図 5-7　架構の最大検定比発生点（使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設架構（車両防護柵））

Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 固縛対象設備の選定 1
2.2 固縛装置の構造 3
2.3 荷重及び荷重の組合せ 8
2.3.1 固縛装置 8
2.3.2 収納ラック 17
3. 設計方針 19
3.1 固縛装置 19
3.2 収納ラック 19
4. 評価方針 23
5. 許容限界 24
6. 強度評価方法 25
6.1 固縛装置 25
6.1.1 記号の定義 25
6.1.2 評価対象部位 29
6.1.3 評価方法 30
6.2 収納ラック 38
6.2.1 記号の定義 38
6.2.2 評価対象部位 41
6.2.3 評価方法 41
7. 適用規格 45

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-3-4　竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」に示すとおり，屋外に設置する重大事故等対処設備のうち，添付書類「Ⅴ-1-1-2-3-2　竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」の「4.　竜巻防護のための固縛対象物の選定」で選定する固縛対象物に設置する固縛装置が竜巻襲来時においても，固縛装置の構成要素が，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）が固縛対象設備に作用した場合であっても，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有することを計算により確認するための強度設計方針について説明するものである。

2. 基本方針

強度設計は，「2.1　固縛対象設備の選定」に示す設備を対象として，「2.2　固縛装置の構造」に示す固縛装置が「2.3　荷重及び荷重の組合せ」で示す設計荷重を考慮し，「6.　強度評価方法」で示す評価方法により「5.　許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

2.1　固縛対象設備の選定

屋外に設置又は保管する重大事故等対処設備は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-別添 1　屋外に設置されている重大事故等対処設備の抽出」に示している。これらの屋外の重大事故等対処設備は，竜巻の風圧力による荷重に対しては，位置的分散等を考慮した設置又は保管により機能を損なわない設計としており，それとあいまって，悪影響防止として，設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し，損傷させることのないように，浮き上がりの発生の有無，横滑り対策の要否を検討し，固縛装置が必要となる屋外の重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）を選定する。固縛対象設備のうち，添付書類「Ⅴ-1-1-6-別添 2　可搬型重大事故等対処設備の設計方針」のとおり，耐震設計において，サスペンションにより地震に対する影響を軽減できる構造としている車両一体型の設備を車両型の固縛対象設備とし，複数の固縛対象設備をコンテナ，車両等に保管している場合は，コンテナ，車両等を収納設備として扱い，車両型以外の固縛対象設備として区分する。なお，固縛対象設備は，保管単位に対して選定する。

固縛対象設備は，以下の観点を考慮して選定する。

・設備の形状（受圧面積，重量，重心高さ等）
・保管場所及び周辺状況
・設計竜巻による風圧力の影響の有無

固縛対象設備として抽出された屋外の重大事故等対処設備の一覧を表 2-1 に示す。

なお，屋外の常設重大事故等対処設備は，竜巻の風圧力による荷重を考慮した設計又は設置場所により影響を受けないため，固縛対象設備として選定されない。

表 2-1　屋外の重大事故等対処設備のうち評価対象とする固縛対象設備一覧

固縛対象設備	区分	保管単位	備考
可搬型代替注水大型ポンプ	車両型	台	
可搬型代替注水中型ポンプ	車両型	台	
可搬型代替注水大型ポンプ（放水用）	車両型	台	
放水砲	車両型以外	台	
ホイールローダ	車両型以外	台	
小型船舶	車両型以外	基	船体と船外機は，個別に保管する。 船体は専用船台に積載，船外機は専用ラックに収納して保管
窒素供給装置	車両型	台	
窒素供給装置用電源車	車両型	台	
汚濁防止膜	車両型以外	台	汚濁防止膜運搬車荷台に積載して保管
泡混合器	車両型以外	個	
泡消火薬剤容器（大型ポンプ用）	車両型以外	個	
タンクローリ	車両型	台	
可搬型代替低圧電源車	車両型	台	
可搬型整流器	車両型以外	基	専用ラックに収納して保管
ホース	車両型以外	基	専用コンテナに収納して保管
	車両型以外	台	専用コンテナに収納し，当該コンテナをホース展張車に積載して保管
ホース（放水用）	車両型以外	基	専用コンテナに収納して保管
	車両型以外	台	専用コンテナに収納し，当該コンテナをホース展張車に積載して保管
ケーブル	車両型以外	台	可搬型ケーブル運搬車に収納して保管

2.2　固縛装置の構造

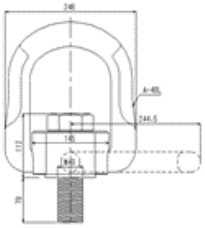
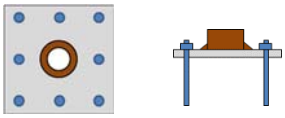
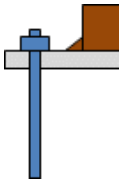
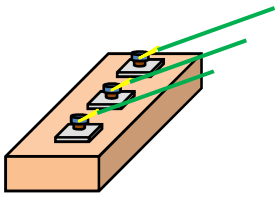
固縛装置は，固縛対象設備が受ける浮き上がり荷重や横滑り荷重を，連結材（高強度繊維ロープ）及び固定材（フレノ・リンクボルト，アンカープレート）を介してコンクリート等の基礎部で拘束する構造とする。固縛装置の構成要素を表 2-2 に示す。

車両型の固縛対象設備の固縛装置の構造を表 2-3 (1/3)に示す。車両型の固縛対象設備は，添付書類「Ⅴ-1-1-6-別添 2　可搬型重大事故等対処設備の設計方針」のとおり，耐震設計において，サスペンションにより地震に対する影響を軽減できる構造としているため，耐震設計に影響を与えることのないよう，固縛装置の連結材に適切な余長を持たせた設計とする。

また，車両型以外の固縛対象設備の固縛装置は，車両型の固縛対象設備を固縛する場合と異なり，耐震設計として，固縛対象設備の構造を期待する設備でないこと，又は保管状態にて固縛対象設備の機能維持を確認していることより，耐震設計への影響は考慮不要とし，余長を持たせた設計とはしない。なお，車両型以外の固縛対象設備の一部はコンテナ及びラックに収納並びに運搬車に積載して保管するため，固縛装置は当該保管単位に対して設置するが，この場合の車両については収納設備としており，固縛装置においても余長を持たせた設計とはしないことを基本とする。

車両型以外の固縛対象設備（コンテナ型固縛対象設備及び運搬車等に積載した固縛対象設備）の固縛装置の構造を表 2-3 (2/3)及び(3/3)に示す。

表 2-2　固縛装置の構成要素

固縛装置構成要素名称		概念図	用途
連結材	高強度繊維ロープ		固縛対象設備と固縛装置の固定材をつなぎ，固縛対象設備を拘束するときに使用する。
固定材	フレノ・リンクボルト		アンカープレートに取付け，リングの部分に連結材を接続し，固縛対象設備を固縛するときに使用する。
	アンカープレート		基礎部に取付け，フレノ・リンクボルトと連結し，固縛対象設備を固縛するときに使用する。
基礎部（アンカーボルト）	接着系アンカー		固定材（アンカープレート）と基礎部を定着させるために使用する。
	スラブコンクリート		連結材及び固定材との連結により，スラブコンクリートの重量によって，固縛対象設備の浮き上がり及び横滑りを防止するために使用する。

注）　耐震設計での保管状態（収納ラック等への取付）は上記構成要素の対象外とする。

表 2-3　固縛装置の構造（1/3）

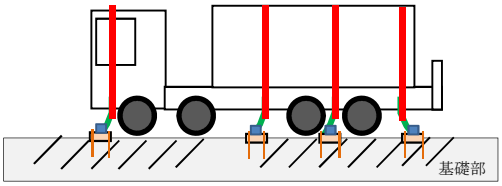
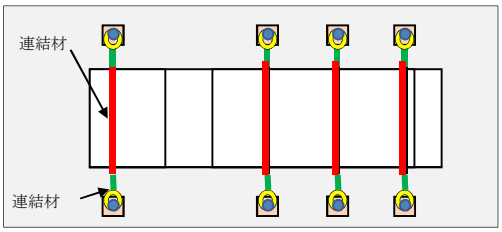
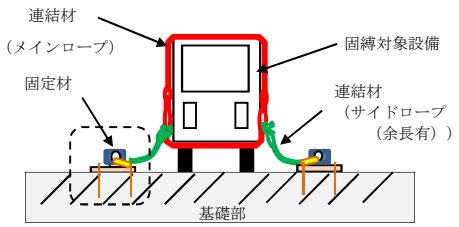
施設名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	車両型の固縛対象設備	固縛装置は，連結材，固定材及び基礎部から構成し，連結材（メインロープ）を車両型固縛対象設備に巻付け，連結材（サイドロープ）によって固定材（フレノ・リンクボルト）に固定することで車両を固縛する。 車両型の固縛対象設備については，連結材（サイドロープ）に余長を持たせて固縛することにより，耐震設計に影響のない設計とする。 車両型の固縛対象設備は，重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために，固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくすることで，機動性を確保する設計とする。	 （側面図）  （上面図）  （正面図）

表 2-3　固縛装置の構造（2/3）

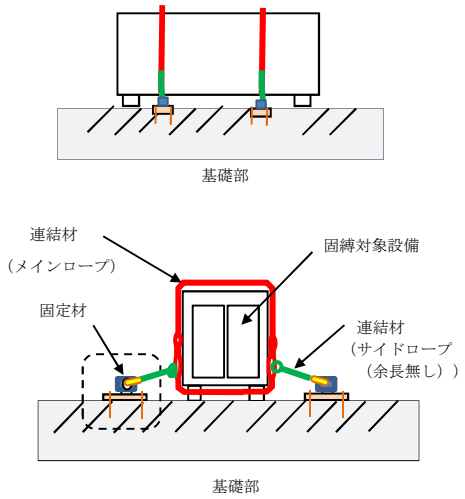
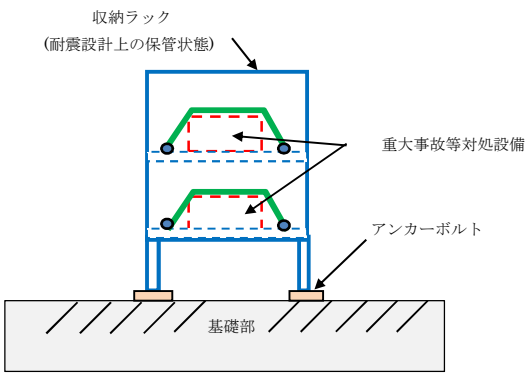
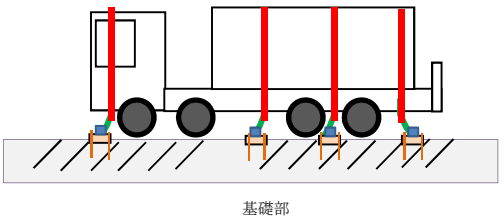
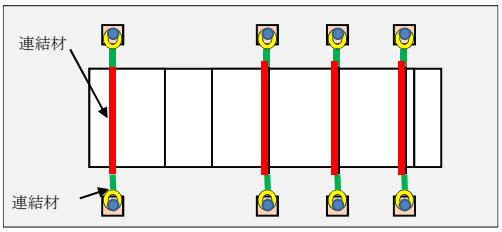
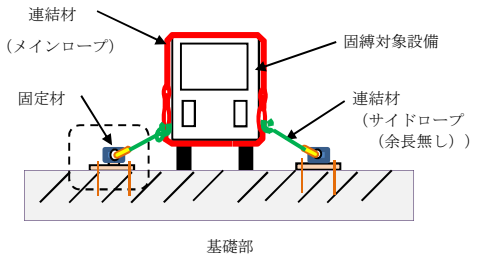
施設名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	車両型以外の固縛対象設備	固縛装置は，連結材，固定材及び基礎部から構成し，連結材（メインロープ）を車両型以外の固縛対象設備に巻付け，連結材（サイドロープ）によって固定材（フレノ・リンクボルト）に固定することで車両を固縛する。連結材には，余長を設けない設計とする。 固縛対象設備は，重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために，固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくすることで，機動性を確保する設計とする。	固縛対象設備をコンテナに収納して保管 （収納コンテナを固縛する場合） 
		固縛対象設備は，耐震設計で設定している収納ラック等内に固縛され，収納ラック等をアンカーボルトにて基礎部に固定する。	固縛対象設備をラックに収納して保管 （耐震設計で保管状態を考慮している場合）  （当保管状態で固縛不要となる場合は，固縛装置は不要）

表 2-3　固縛装置の構造（3/3）

施設名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	車両型以外の固縛対象設備	固縛装置は，連結材，固定材及び基礎部から構成し，連結材（メインロープ）を，固縛対象設備の収納設備としての車両に巻付け，連結材（サイドロープ）によって固定材（フレノ・リンクボルト）に固定することで車両を固縛する。 連結材（サイドロープ）には，余長を設けない設計とする。 固縛対象設備は，重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために，固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくすることで，機動性を確保する設計とする。	固縛対象設備を運搬車等に積載して保管 （収納設備としての車両を固縛する場合）  （側面図）  （上面図）  （正面図）

2.3　荷重及び荷重の組合せ

2.3.1　固縛装置

固縛対象設備の固縛装置の強度評価に用いる荷重として，竜巻の風荷重によって，固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを起こした場合に，固縛装置に作用する荷重を設計荷重とする。設計荷重は，固縛装置が浮き上がり又は横滑りの挙動を拘束するために発生する荷重であり，固縛対象設備に最大水平風速による風荷重が作用したケースを考慮して設定する。また，余長を設けた固縛装置には，横滑りを始め，移動量が設計余長を超えると連結材が展張し，固縛装置に動的荷重が作用するため，この動的荷重も設計荷重として考慮する。なお，連結材の展張以後は，竜巻の風速場の特性を考えると，竜巻の風荷重が風向きを変えながらも固縛対象設備に持続的に作用し続けるため，連結材も展張し続け竜巻が通過するまで，固縛対象設備は，円弧を描くように環状に移動すると考えられるため，風荷重が持続荷重として継続して作用する。

また，竜巻の最大水平風速時に浮き上がり及び横滑りの両方が発生する固縛対象設備については，各評価対象部位に対し，両方の荷重状態を比較し大きい荷重を設計荷重とする。

浮き上がりに伴い固縛装置に作用する荷重の算出については，空力パラメータから算出した揚力が自重よりも大きく，浮き上がると判断される固縛対象設備に対して行う。

横滑りに伴い固縛装置に作用する荷重の算出については，固縛対象設備が横滑りによって移動した場合に，設計基準事故対処設備等及び同じ機能を有する他の重大事故等対処設備との間に障害物がないために衝突し，悪影響を及ぼす可能性がある固縛対象設備に対して行う。

竜巻の風速としては，設計竜巻の最大風速V_D＝100 m/s を使用することとする。

なお，設計竜巻の風速場モデルにフジタモデルを適用するため，固縛対象設備に作用する最大水平風速V_{SA}は，流入層の影響を考慮した水平風速となる。流入層とは，地面付近において地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ，流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されるもので，摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。したがって，流入層に配置される固縛対象設備に作用する風速は，地面からの高さに依存する。評価条件を表 2-4 に示す。

表 2-4　設計竜巻の評価条件

最大風速 V_D (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線風速の生じる半径 Rm (m)	流入層高 Hi (m)	空気密度 ρ (kg/m^3)	ガスト影響係数 G (－)
100	85	30	15	1.22	1.0

設計竜巻の風荷重は，固縛対象設備の形状及び風荷重の作用方向による見付面積に応じて異なるため，固縛対象設備に最も厳しくなる方向の風圧力に対して，荷重を設定する。一方，風荷重は，固縛対象設備の外面に沿って作用することには変わらず，見付面積に直

角方向に作用する時が，作用する風圧力が全て固縛対象設備に作用することから，最も厳しい荷重状態となるため，この時の荷重を設定する。

設計荷重の考え方の概念図を図 2-1 に示す。

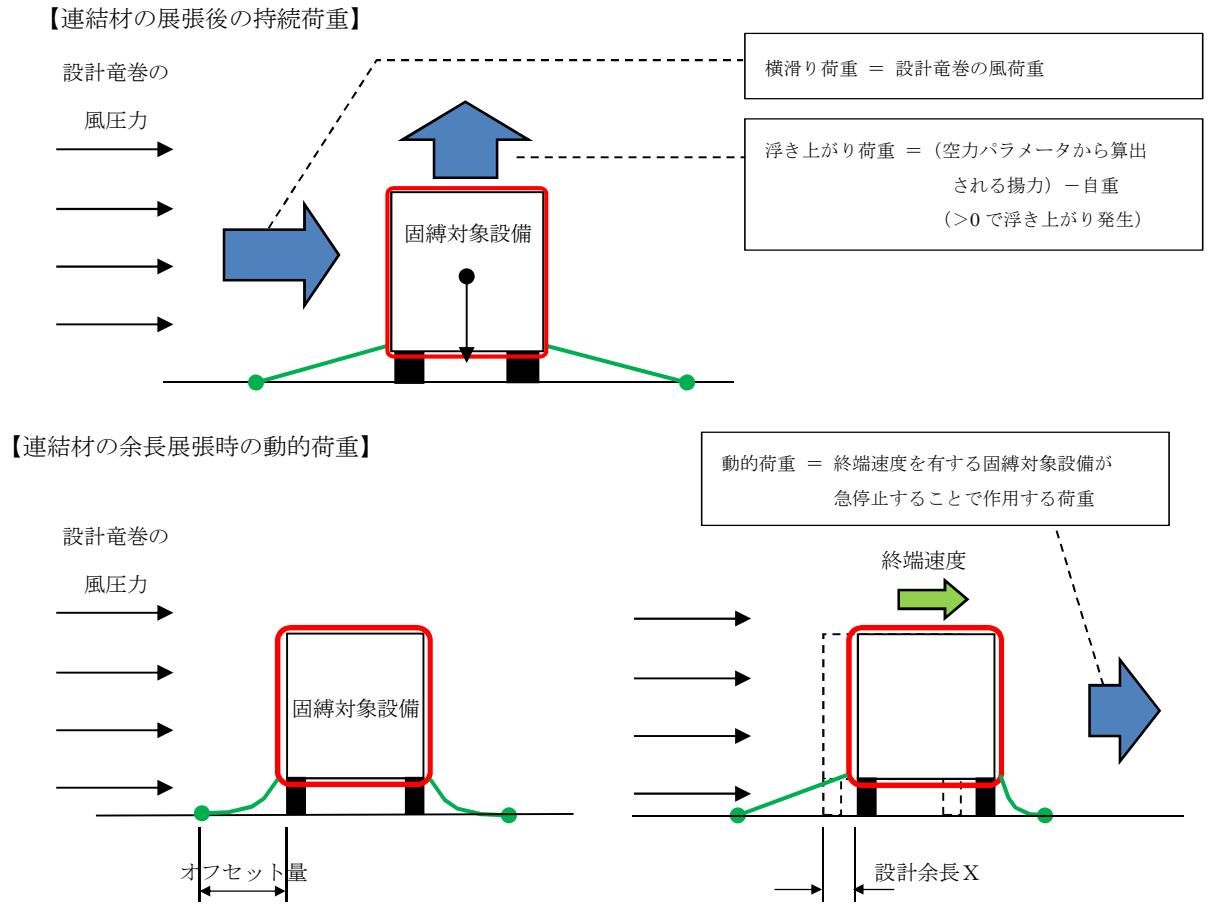


図 2-1　設計荷重の考え方の概念図

(1)　荷重の種類

a.　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重とする。

b.　風圧力による荷重（W_W）

風圧力による荷重は，固縛対象設備に発生し，連結材，固定材（フレノ・リンクボルト及びアンカープレート）を介して基礎（アンカーボルト）に作用する。

竜巻による最大風速は，一般的には水平方向の風速として設定され，これにより固縛対象設備は横滑りを生じるような力を受けるが，鉛直方向に対しても，風圧力により固縛対象設備に揚力が発生し，浮き上がりが生じるような力を受けるため，鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(2)　竜巻の風圧力による荷重の算定

竜巻の風圧力による荷重を考慮し，荷重の算出式を以下に示す。

a.　記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 2-5 に示す。

表 2-5　荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
Rm	m	最大接線風速の生じる半径
Hi	m	流入層高さ
C_{Di}（i=1, 2, 3）	－	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
A_i（i=1, 2, 3）	m^2	固縛対象設備の各面の見付面積
W	m	固縛対象設備の幅
L	m	固縛対象設備の長さ
H	m	固縛対象設備の高さ
m	kg	固縛対象設備の質量
g	m/s^2	重力加速度（g＝9.80665）
ρ	kg/m^3	空気密度
q	N/m^2	設計用速度圧
G	－	ガスト影響係数
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
A	m^2	固縛対象設備の最大見付面積
$V_{SAS,F}$	m/s	固縛対象設備が浮き上がりを開始する風速
$V_{SAS,S}$	m/s	固縛対象設備が横滑りを開始する風速
C_DA/m	m^2/kg	空力パラメータ
μ_S	－	固縛対象設備と路面の静摩擦係数
μ_d	－	固縛対象設備と路面の動摩擦係数
X	mm	固縛装置の設計余長
L_{OF}	mm	固縛対象設備と固縛装置（アンカー点）のオフセット量
n	箇所	固縛装置の設置箇所数
n’	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
k	N/m	連結材の等価剛性（＝E_{RP}・A_{RP}／L_{RP}）
E_{RP}	N/mm^2	連結材の弾性係数
A_{RP}	mm^2	連結材の断面積
L_{RP}	m	連結材の長さ
F_d	kN	固縛対象設備の自重
$F_{L,m}$	kN	固縛対象設備に作用する保守的に設定した揚力
P_V	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
P_H	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
P_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重

b. 浮き上がり荷重

(a) 浮き上がりを考慮する対象設備の選定

浮き上がりを考慮する対象設備の選定に当たっては，固縛対象設備に対する浮き上がり荷重の発生の有無により抽出する。

(b) 浮き上がり荷重

固縛対象設備の浮き上がり時に発生する荷重P_Vは，設計竜巻により当該固縛対象設備に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は，固縛対象設備の形状による空力パラメータを用いて算出される揚力が自重を上回る（＝空力パラメータから算出される揚力－自重 ＞ 0 ）場合に上向きの力として固縛対象設備に作用する。

固縛対象設備に作用する揚力は，揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力$F_{L,m}$を用い，以下の式にて算出する。

$$F_{L,m}=\frac{1}{2}\rho \cdot V_{SA}{}^{2} \cdot C_D A$$

ρ ：空気の密度

V_{SA}：固縛対象設備に作用する設計竜巻の最大水平風速

$C_D A$：抗力係数と見付面積の積の平均値

保守的な揚力を空力パラメータ$C_D A/m$を用いた式に展開すると，浮き上がり荷重P_Vは次に示す式により算出する。

$$P_V=F_{L,m}-m\cdot g=\frac{1}{2}\rho \cdot V_{SA}{}^{2} \cdot C_D A-m\cdot g$$

$$=m\left(\frac{1}{2}\rho \cdot V_{SA}{}^{2} \cdot \frac{C_D A}{m}-g\right)$$

なお，空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき，以下の$C_D A/m$として算出する。

$$\frac{C_D A}{m}=\frac{0.33\left(C_{D1}A_1+C_{D2}A_2+C_{D3}A_3\right)}{m}$$

c. 横滑り荷重

(a) 横滑りを考慮する対象設備の選定

横滑りを考慮する対象設備の選定に当たっては，固縛対象設備が横滑りにより移動した場合，外部事象防護対象施設及び同じ機能を有する他の重大事故等対処設備との間に障害物がないために衝突し，悪影響を及ぼす可能性がある固縛対象設備を抽出す

る。

固縛対象設備が保管される可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側）又は可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）においては，外部事象防護対象施設及び同じ機能を有する他の重大事故等対処設備と互いに衝突する可能性があるため，全固縛対象設備を，横滑りを考慮する対象設備として選定する。

(b) 横滑りに伴い発生する荷重

横滑りに伴い発生する荷重P_Hは，当該固縛対象設備に設計竜巻の風圧力による荷重が作用するときの水平力とし，「建築基準法施行令」及び「日本建築学会　建築物荷重指針・同解説」に準拠して，次に示すとおりW_Wとする。

$$P_H = W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

q ：設計用速度圧

G ：ガスト係数（＝1.0）

C ：風力係数

A ：受圧面積　（固縛対象設備の見付面積の最大値）

$$q = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}{}^2$$

ρ ：空気の密度

V_{SA} ：固縛対象設備に作用する最大水平風速

d. 動的荷重

(a) 動的荷重を考慮する対象設備の選定

動的荷重を考慮する対象設備の選定に当たっては，固縛装置の余長の有無により抽出する。また，余長を有していても風荷重の方向によって横滑り等の移動をしない場合もあり，当該ケースについては検討ケースとはしない。

(b) 固縛装置作動に伴い発生する動的荷重

固縛装置が作動（余長が展張）することで，固縛対象設備は急制動により停止し，図 2-2 に示すように，固縛装置には，制動荷重の反力として動的荷重が発生する。制動荷重は，固縛対象設備が固縛装置作動直前に有していた速度v_{SA}がΔt の間に 0（＝停止）になったとし，固縛対象設備が損失した運動量と力積との関係によって算出することができ，動的荷重も制動荷重の反力であるから同様に算出できる。

固縛対象設備が停止したときには，連結材を弾性体として，弾性的な荷重が作用するモデルにて評価し，固縛対象設備が損失した運動量による制動荷重の反力が，動的荷重として作用すると考え，以下の手順によって動的荷重を算出する。

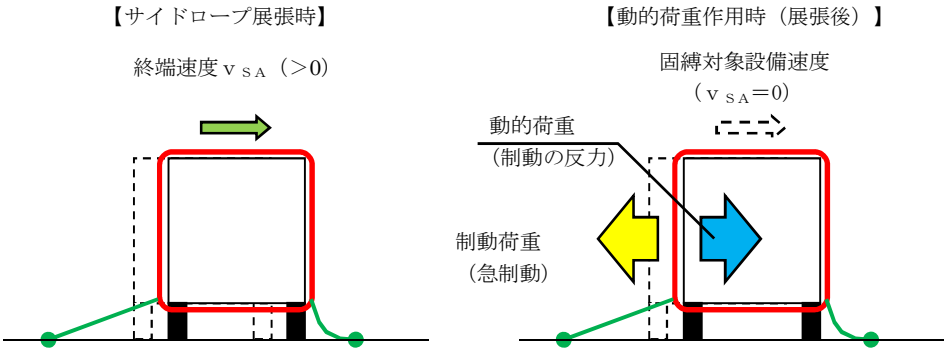


図 2-2　連結材の展張以後の固縛対象設備の概要モデル

イ．　固縛対象設備の挙動開始風速の算出

固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを始める時の風速を算出する。

浮き上がり開始風速$V_{SAS,F}$は，浮き上がり荷重P_Vが 0 となる時の風速であり，以下の式によって算出する。

$$V_{SAS,F}=\sqrt{\frac{2\cdot g}{\rho\cdot\frac{C_D A}{m}}}$$

横滑り開始風速$V_{SAS,S}$は，風圧力による荷重と静止摩擦力が釣り合った時の風速であり，以下の式によって算出する。

$$V_{SAS,S}=\sqrt{\frac{2\mu_S\cdot g}{\rho\cdot\left(\frac{G\cdot C\cdot A}{m}+\mu_S\frac{C_D A}{m}\right)}}$$

μ_S　：固縛対象設備の静摩擦係数（＝0.44）
（道路構造令の記載数値を参考として，保守的に 20km/h の路面とタイヤのすべり摩擦係数を静摩擦係数として設定）

ロ．　固縛装置の余長がなくなる時点での終端速度の算定

固縛対象設備が挙動を開始してから連結材（サイドロープ）が展張する時点での固縛対象設備が持つ速度である終端速度$v_{SA,OT}$を算出する。以下横滑りに対して，算定例を記載する。

固縛対象設備が横滑りを始めた風速から最大風速となる風速を，設計竜巻の風速分布曲線より，保守性を考慮して線形近似した以下の式を使用する。

$$V'_{SA}=a\ t+b \quad \cdots (2.1)$$

V'_{SA}：t 秒後に固縛対象設備が受ける竜巻の風速
a　：風速の近似式の定数
b　：風速の近似式の定数（＝滑り出し風速）

停止している固縛対象設備が動き出し，設計余長分を移動した時の加速度a_{SA}を，荷重と加速度の関係から算出する。

$$a_{SA}=\frac{F}{m}=\frac{W_W-F_{fd}}{m}$$

$$=\frac{1}{2}\rho\left(\frac{G\cdot C\cdot A}{m}+\mu_d\cdot\frac{C_D A}{m}\right)V'_{SA}{}^2-\mu_d\cdot g\cdots(2.2)$$

F_{fd}：固縛対象設備に作用する動摩擦力

μ_d：固縛対象設備の動摩擦係数（＝0.29）
（道路構造令の記載数値を参考として，保守的に 120km/h の路面とタイヤのすべり摩擦係数を動摩擦係数として設定）

ここで，Kを以下に示すように置いて，（2.2）式のV'_{SA}に（2.1）式を代入し，tに対する式として整理すると，（2.3）式となる。

$$K=\frac{1}{2}\rho\left(\frac{G\cdot C\cdot A}{m}+\mu_d\cdot\frac{C_D A}{m}\right)$$

$$a_{SA}=K\cdot a^2\cdot t^2+2K\cdot a\cdot b\cdot t+(K\cdot b^2-\mu_d\cdot g)\cdots(2.3)$$

固縛対象設備の速度v_{SA}は，加速度a_{SA}を時間tで積分し，初期条件を考慮することで（2.4）式となる。（初期条件t＝0のとき，$v_{SA}=0$）

$$v_{SA}=\int a_{SA}\,dt$$

$$=\frac{1}{3}K\cdot a^2\cdot t^3+K\cdot a\cdot b\cdot t^2$$

$$+(K\cdot b^2-\mu_d\cdot g)t\cdots(2.4)$$

固縛対象設備の移動距離x_{SA}は，速度v_{SA}を時間tで積分し，初期条件を考慮すると以下の式となる。（初期条件t＝0のとき，$x_{SA}=0$）

$$x_{SA}=\int v_{SA}\,dt$$

$$=\frac{1}{12}K\cdot a^2\cdot t^4+\frac{1}{3}K\cdot a\cdot b\cdot t^3$$

$$+\frac{1}{2}(K\cdot b^2-\mu_d\cdot g)\,t^2\cdots(2.5)$$

固縛対象設備の移動距離x_{SA}が設計余長Xとなるケースとして，（2.5）式をtについて解くと，滑り始めてから固縛装置が作動するまでの時間t_iが算出できる。

（2.4）式にt_iを代入することで，固縛装置が作動する時点での固縛対象設備の速度として，終端速度$v_{SA,OT}$が算出される。

ハ. 固縛装置に作用する動的荷重の算定

固縛対象設備の停止時に，固縛装置に作用する動的荷重は，急制動による停止に伴う動的荷重によって連結材に作用する張力に加え，風圧力及び動摩擦力による荷重F_i’を静荷重として，動的荷重F_iによる連結材に作用する張力に加算する。固縛対象設備が有する運動量はmv_{SA}である。固縛装置が作用し始めてΔtの間に停止したとすると，連結材に発生する動的荷重F_iと運動量の関係は，（2.6）式に示すとおりとなる。

$$\int_0^{\Delta t} F_i(t)dt = m \cdot v_{SA} \quad \cdots (2.6)$$

連結材の等価剛性をｋとして，連結材に張力が作用し，固縛対象設備の速度が 0 になったとすると，振幅をＢとして，連結材の変位x_{RP}は，（2.7）式で表される。

$$x_{RP} = B \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \cdots (2.7)$$

また，フックの法則により連結材に発生する動的荷重F_iは（2.8）式となる。

$$F_i(t) = k \cdot x_{RP} = k \cdot B\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \cdots (2.8)$$

ｋ　：連結材の等価剛性

（2.8）式を（2.6）式に代入して積分し，初期条件を考慮して，振幅について解くと（2.9）式となる。（初期条件：ｔ＝0 のとき$v_{SA}=v_{SA,OT}$，ｔ＝Δ ｔのとき$v_{SA}=0$）

$$B = v_{SA,OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \cdots (2.9)$$

また，動的荷重F_iは，（2.8）式の正弦関数が１のときに最大値（＝ｋ・Ｂ）となり，連結材の変位も最大となる。その時間t_i’は，以下の式となる。

$$t_i' = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \cdots (2.10)$$

さらに，風荷重と動摩擦力の差分による静荷重F_i’が作用する。

固縛対象設備に作用する風速は，（2.1）式にt_iを代入して算出する。

なお，このとき，揚力が自重を上回る場合には，摩擦力は考慮しない。

$$V''_{SA} = a \cdot t_i + b$$

$$F_i' = W_W - F_{fd}$$

$$= \frac{1}{2} m \cdot \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V''_{SA}{}^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$$

固縛装置作動により固縛対象設備の急停止に伴う荷重は，動的荷重F_iに加えて静荷重F_i’を加算した荷重とし，動的荷重P_iとする。

(3) 荷重の組合せ

固縛対象設備に作用する荷重は，常時作用荷重（F_d），風荷重による浮き上がり荷重（P_V），横滑り荷重（P_H）及び動的荷重（P_i）を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2-6「固縛装置の荷重の組合せ」に示す。

表 2-6　固縛装置の荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
固縛装置	構造強度	$F_d + P_V$ 又は $F_d + P_H$ 又は $F_d + P_i$ （固縛対象設備に作用する荷重）

(4) 設計荷重の選定

設計荷重の選定に当たっては，浮き上がりに伴い発生する荷重，横滑りに伴い発生する荷重及び固縛装置が挙動を停止させることにより発生する動的荷重を考慮し，評価対象部位に対してより厳しい荷重を設計荷重とする。

2.3.2　収納ラック

重大事故等対処設備を内部に保管した収納ラック等（以下「収納ラック」という。）が，設計竜巻の風荷重により飛散し，設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に悪影響を及ぼすことを防止するための固縛装置の要否を評価する。

収納ラックの基礎部のアンカーボルトの強度評価に用いる荷重として，竜巻の風荷重によって，収納ラックに作用する荷重を設計荷重とする。設計荷重は，収納ラックに最大水平風速による風荷重が作用したケースを考慮して設定し，図 2-3 に収納ラックに対する荷重状態の概要図を示す。

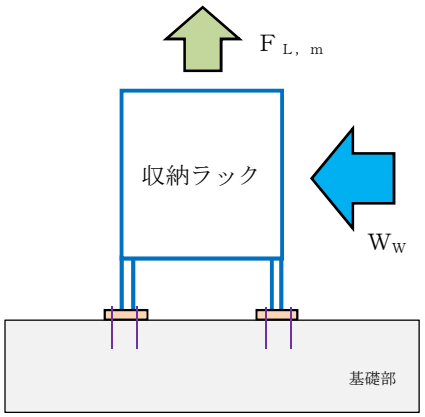


図 2-3　収納ラックに対する荷重状態の概要図

風荷重により収納ラックに作用する荷重の算出については，「2.3.1　固縛装置」と同様とし，設計竜巻の評価条件は，表 2-4 のとおりである。

(1)　荷重の種類

a.　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重であるが，保守的に評価することとして，考慮しない。

b.　風圧力による荷重（W_W）

風圧力による荷重は，収納ラックを介して基礎（アンカーボルト）に作用する。

竜巻による最大風速は，一般的には水平方向の風速として設定され，これにより収納ラックは風圧力を受けるが，鉛直方向に対しても，風圧力により収納ラックに揚力が発生するため，鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(2)　竜巻の風圧力による荷重の算定

竜巻の風圧力による荷重を考慮し，荷重の算出式を以下に示す。

a.　記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 2-7 に示す。

表 2-7　荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
Rm	m	最大接線風速の生じる半径
Hi	m	流入層高さ
C_{Di}（i=1, 2, 3）	－	収納ラックの形状に応じた抗力係数
A_i（i=1, 2, 3）	m^2	収納ラックの各面の見付面積
W	m	収納ラックの幅
L	m	収納ラックの長さ
H	m	収納ラックの高さ
m	kg	収納ラックの質量
g	m/s^2	重力加速度（g＝9.80665）
ρ	kg/m^3	空気密度
q	N/m^2	設計用速度圧
G	－	ガスト影響係数
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
A	m^2	固縛対象設備の最大見付面積
C_DA/m	m^2/kg	空力パラメータ
F_d	kN	固縛対象設備の自重
$F_{L,m}$	kN	固縛対象設備に作用する保守的に設定した揚力
W_W	kN	収納ラックに作用する風荷重

(3)　荷重の組合せ

収納ラックに作用する荷重は，風荷重（W_W）及び風荷重による揚力（$F_{L,m}$）を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2-8「収納ラックの荷重の組合せ」に示す。

表 2-8　収納ラックの荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
収納ラック	構造強度	$W_W+F_{L,m}$

3. 設計方針

3.1 固縛装置

固縛対象設備に風圧力による荷重が作用すると，固縛装置に風荷重に相当する荷重が伝わり，浮き上がり荷重又は横滑り荷重が作用し，固縛対象設備は移動しようとする。連結材（サイドロープ）の余長の有無により，移動が拘束される場合と連結材（サイドロープ）の展張までは移動できる場合があるが，固縛装置を構成している連結材は，柔軟な挙動ができる部材を選定しているため，固縛対象設備に作用する荷重に伴い，連結材には引張荷重が伝達されることは同様である。なお，連結材（サイドロープ）に余長を持たせた固縛装置は，固縛対象設備の移動に伴い連結材が緊張状態になる前は，固縛装置に有意な荷重は発生しない。

以上により，固縛装置の強度設計においては，構成要素ごとに強度評価を実施する。

固縛装置は，表 2-2 に示す構成要素ごとに適切な裕度（安全率）を確保する定格荷重を定め，固縛装置に作用する荷重以上の耐力を持つ構成要素を整理すると，連結材の余長の有無に違いはあるが構成要素は同一で，強度評価の方法に関しても同じであり，表 3-1 に示すとおりとする。

評価上最も裕度の小さい固縛装置の選定及びその固縛装置に対する強度評価について，添付書類「Ⅴ-3-別添-1-3-1　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」に示す。

「2.1　固縛対象設備の選定」にて選定された固縛対象設備について，固縛装置の対策目的及び型式（構成要素の組合せ）を表 3-2 に示す。

表 3-1　固縛装置の構成

型式	連結材	固定材	基礎部（アンカーボルト）
A	高強度繊維ロープ（余長あり）	フレノ・リンクボルト	接着系アンカーボルト
B	高強度繊維ロープ（余長なし）	フレノ・リンクボルト	接着系アンカーボルト

3.2 収納ラック

収納ラックに風圧力による荷重が作用すると，揚力及び風荷重による転倒モーメントが作用し，収納ラックは飛散しようとすることにより，収納ラックの強度設計においては，基礎部（アンカーボルト）の強度評価を実施する。

収納ラックは，収納ラックに作用した風荷重に対して基礎ボルトにて抵抗する構造は同一であり，強度評価の方法についても同一である。

評価上最も裕度の小さい収納ラックの選定及びその収納ラックに対する強度評価について，添付書類「Ⅴ-3-別添-1-3-1　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」に示す。

表 3-2　固縛装置の対策目的及び型式(1/3)

固縛対象設備		保管に関する事項			固縛装置対策目的		余長有無	備考
区分	設備名称	保管単位	保管状態の特記事項	保管場所*1	横滑り	浮き上がり		
車両型	可搬型代替注水大型ポンプ	台	－	西側 南側	○	○*2	有	
	可搬型代替注水大型ポンプ（放水用）	台	－	西側 南側（予備）	○	○*2	有	
	可搬型代替注水中型ポンプ	台	－	西側 南側	○	○*2	有	
	可搬型代替低圧電源車	台	－	西側 南側	○	○	有	
	タンクローリ	台	－	西側 南側（予備）	○	○	有	
	窒素供給装置	台	車両搭載型	西側 南側（予備）	○	○*2	有	
	窒素供給装置用電源車	台	－	西側 南側（予備）	○	○	有	

注記　＊1：保管場所は以下を示す。

西側：可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側），南側：可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）

＊2：浮き上がりは生じるが，余長が展張することはないため，固縛装置に浮き上がり荷重は作用しない。

表 3-2　固縛装置の対策目的及び型式(2/3)

固縛対象設備		保管に関する事項			固縛装置対策目的		余長有無	備考
区分	設備名称	保管単位	保管状態の特記事項	保管場所*	横滑り	浮き上がり		
車両型以外	ホイールローダ	台	－	西側 南側（予備）	○	○	有	
	ホース	基	ホースを収納した専用コンテナで保管	西側 南側	○	○	無	
		台	ホースを収納した専用コンテナをホース展張車に積載して保管	西側 南側	○	○	有	ホース運搬の運用性を考慮して余長を設定する。
	ホース（放水用）	基	ホースを収納した専用コンテナで保管	西側 南側（予備）	○	○	無	
		台	ホースを収納した専用コンテナをホース展張車に積載して保管	西側 南側（予備）	○	○	有	ホース運搬の運用性を考慮して余長を設定する。
	放水砲	台	－	西側 南側（予備）	○	○	無	
	泡混合器	個	－	西側 南側（予備）	○	○	無	
	泡消火薬剤容器（大型ポンプ用）	個	－	西側 南側（予備）	○	○	無	

注記　＊：保管場所は以下を示す。

西側：可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側），南側：可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）

表 3-2　固縛装置の対策目的及び型式(3/3)

固縛対象設備			保管に関する事項			固縛装置対策目的		余長有無	備考
区分	設備名称		保管単位	保管状態の特記事項	保管場所*1	横滑り	浮き上がり		
車両型以外	ケーブル		台	ケーブルを収納した可搬型ケーブル運搬車に積載して保管	西側 南側	○	○	無	
	可搬型整流器		基	専用ラックに収納して保管	西側 南側	○*2	○*2	無	耐震設計において保管状態を考慮して設計している。
	汚濁防止膜		台	汚濁防止膜運搬車の荷台に積載して保管	西側 南側（予備）	○	○	無	
	小型船舶	（船外機）	基	専用ラックに収納して保管	西側 南側（予備）	○*2	○*2	無	耐震設計において保管状態を考慮して設計している。
		（船体）	基	専用船台に積載して保管	西側 南側（予備）	○*2	○*2	無	

注記　＊1：保管場所は以下を示す。

西側：可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側），南側：可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）

＊2：耐震設計による保管状態（収納ラック等）で竜巻の風荷重によって飛散しない場合には，固縛は不要とする。

4.　評価方針

固縛装置の強度評価は，設計荷重が固縛装置に作用することにより，評価対象部位に作用する荷重及び応力等が，「5.　許容限界」に示す許容限界に収まることを，「6.　強度評価方法」に示す方法により確認する。

収納ラックの強度評価は，設計荷重が収納ラックに作用することにより，評価対象部位に作用する荷重及び応力等が，「5.　許容限界」に示す許容限界に収まることを，「6.　強度評価方法」に示す方法により確認する。

固縛装置及び収納ラックの強度評価においては，その構造を踏まえ，「2.3　荷重の及び荷重の組合せ」に示す設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

(1)　強度評価方針

固縛装置及び収納ラックの強度評価フローを図 4-1 に示す。

固縛装置の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻の風圧力による荷重が固縛対象設備に作用した場合に固縛装置を構成している連結材，固定材及び基礎部（アンカーボルト）に作用する荷重，応力等が「5.　許容限界」にて示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。強度評価においては，固縛対象設備に作用する荷重算出のための風速や連結材の剛性等，又許容限界の設定において保守性を考慮し，強度評価に対する信頼性を高めている。

収納ラックの強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重が収納ラックに作用した場合に，収納ラックの基礎部に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が「5.　許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。強度評価においては，収納ラックに作用する荷重の算出において保守性を考慮し，強度評価に対する信頼性を高めている。

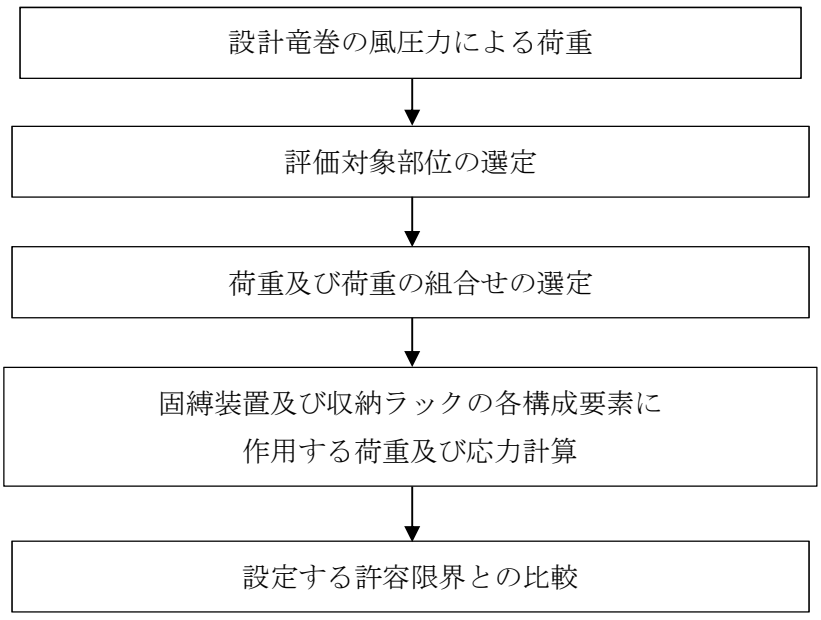


図 4-1　固縛装置及び収納ラックの強度評価フロー

5. 許容限界

固縛装置及び収納ラックの許容限界は，「6.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，評価内容に応じて設定する。

固縛装置に要求される機能は，竜巻により設計荷重を受けた固縛対象設備に浮き上がり又は横滑りが発生した場合であってもその移動を制限し，外部事象防護対象施設や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突することを防止すること（悪影響防止）である。そのため，竜巻による固縛対象設備の浮き上がり又は横滑りによる移動を制限する際に，固縛装置に作用する荷重に対して，固縛状態を維持することが求められる。そこで，固縛装置の許容限界としては，終局耐力を適用し，許容限界以下であり，固縛状態を維持するために必要な強度を有する設計とする。

ただし，取替えが容易にできない基礎部（アンカーボルト）については，竜巻襲来時に永久変形を生じさせないために，許容限界として降伏耐力又は短期許容応力度を適用することとする。

収納ラックに要求される機能は，竜巻により設計荷重を受けた収納ラックが飛散せず，外部事象防護対象施設や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突することを防止すること（悪影響防止）である。そこで，収納ラックの許容限界としては，取替えが容易にできない基礎部（アンカーボルト）として，竜巻襲来時に永久変形を生じさせないために，許容限界として短期許容応力度を適用することとする。

なお，発電所敷地内に竜巻が発生した場合は，事象収束後，設備の損傷の有無及び竜巻の規模を確認し，損傷が確認された場合の処置については，保安規定に定める。

(1) 連結材

固縛に必要となる連結材（メインロープ及びサイドロープ）については，設計竜巻による荷重に対し，連結材の破断が生じない設計とする。

このため，当社がその妥当性を確認したメーカ提示値の引張強度を許容限界とする。

(2) 固定材

a. フレノ・リンクボルト

固定材のうち，フレノ・リンクボルトについては，設計竜巻による荷重に対し，フレノ・リンクボルトの破断が生じない設計とする。

このため，当社がその妥当性を確認したメーカ提示の使用荷重及び安全係数によって，使用荷重に対し安全係数を考慮した値を許容限界とする。

b. アンカープレート

固定材のうち，アンカープレートについては，設計竜巻による荷重に対し，鋼材の破断が生じない設計とする。

このため，「鋼構造塑性設計指針」に基づく，部材の終局耐力を許容限界とする。

(3) 基礎部（アンカーボルト）

a. 接着系アンカーボルト

基礎部（アンカーボルト）のうち，接着系アンカーボルトについては，設計竜巻による荷重に対し，接着系アンカーボルトの破断が生じない設計とする。

このため，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく，短期許容荷重を許容限界とする。

6. 強度評価方法

6.1 固縛装置

6.1.1 記号の定義

(1) 強度評価の記号の定義

連結材の強度評価に用いる記号を表 6-1，固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表 6-2 に示す。

表 6-1 連結材の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_d	kN	固縛対象設備の自重
P_V	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
P_H	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
P_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
n_1	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
P_1	kN	連結材 1 組当たりに作用する荷重
$P_{1,m}$	kN	連結材（メインロープ）1 組当たりに作用する荷重
$P_{1,s}$	kN	連結材（サイドロープ）1 組当たりに作用する荷重
θ_{V1}	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_{V2}	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時（正面方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置とのなす角度
A	m^2	固縛対象設備の最大見付面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	－	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
ρ	kg/m^3	空気密度
C_{Di}（i=1, 2, 3）	－	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
A_i（i=1, 2, 3）	m^2	固縛対象設備の各面の見付面積
H	m	固縛対象設備の高さ
m	kg	固縛対象設備の質量
g	m/s^2	重力加速度（g＝9.80665）

表 6-2　固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
F_d	kN	固縛対象設備の自重
P_V	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
P_H	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
P_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
n_2	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
P_2	kN	フレノ・リンクボルト 1 本当たりに作用する荷重
P_3	kN	アンカープレート 1 箇所あたりに作用する荷重
θ_{V1}	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_{V2}	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時（正面方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置とのなす角度
A	m^2	固縛対象設備の最大見付面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	－	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
ρ	kg/m^3	空気密度
C_{Di}（i=1, 2, 3）	－	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
A_i（i=1, 2, 3）	m^2	固縛対象設備の各面の見付面積
H	m	固縛対象設備の高さ
m	kg	固縛対象設備の質量
g	m/s^2	重力加速度（g＝9.80665）
F	N/mm^2	鋼材の基準強度
σ_y	N/mm^2	検討対象部材の降伏応力度で，基準強度 F 値を 1.1 倍した値
τ_y	N/mm^2	検討対象部材のせん断降伏応力度（$\tau_y=\sigma_y/\sqrt{3}$）
f_b	N/mm^2	検討対象部材の短期許容曲げ応力度
f_t	N/mm^2	検討対象部材の短期許容引張応力度

表 6-2　固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
h	mm	ベースプレート板厚芯からのフレノ・リンクボルト芯までの高さ
L_1	mm	両端のアンカーボルト芯間距離
d_t	mm	ベースプレート端部から引張側アンカーボルト芯までの距離
${}_B B$	mm	ベースプレートの幅
${}_B t$	mm	ベースプレートの厚さ
${}_B Z_{py}$	mm	ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数
${}_B Z_{px}$	mm	ベースプレートの x 軸まわりの塑性断面係数
${}_B A$	mm	ベースプレートの断面積
${}_B M_y$	kN・mm	x 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
${}_B M_x$	kN・mm	y 方向検討荷重によるベースプレートの x 軸まわり曲げモーメント
${}_B M_{y_z}$	kN・mm	z 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
${}_B M_{py}$	kN・mm	ベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント
${}_B M_{px}$	kN・mm	ベースプレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント
${}_B Q_x$	kN	x 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_y$	kN	y 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_{x_z}$	kN	z 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_{px}$	kN	x 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_B Q_{py}$	kN	y 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_B Q_{pz}$	kN	z 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_A \alpha$	－	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
${}_A A_e$	mm^2	アンカーボルトの有効断面積
n	本	一組のアンカープレートにおけるアンカーボルト本数
n'	本	一組のアンカープレートにおける引張側アンカーボルト本数
${}_A T_V$	kN	z 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
${}_A T_H$	kN	x 又は y 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
ϕ_1	－	アンカーボルトの許容引張力を決定する際の低減係数で，アンカーボルトの降伏による場合は 1.0 アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で，アンカーボルトのせん断強度による場合は 1.0
F_c	N/mm^2	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度（＝40）
${}_s \sigma_{qa}$	N/mm^2	接着系アンカーボルトの短期許容せん断応力度（＝$0.7 \times f_t$）
${}_A Q$	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力
γ	kN/m^3	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量

表 6-2　固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
Q_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容せん断力
Q_{a2}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容せん断力
ϕ_2	－	アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で，コンクリートの支圧及び躯体のコーン状破壊による場合は 2/3
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm^2	基礎コンクリートの支圧強度で，$0.5\times\sqrt{}$（$F_c\cdot E_c$）
E_c	N/mm^2	コンクリートのヤング係数で，$3.35\times10^4\times(\gamma/24)^2\times(F_c/60)^{1/3}$
A_{qc}	mm^2	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
${}_AL$	mm	接着系アンカーボルトにおいては，埋込長さ
${}_AL_e$	mm	接着系アンカーボルトの有効埋込長さ
${}_AL_{ce}$	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
${}_Ad_a$	mm	接着系アンカーボルトの呼び径
α_1 α_2 α_3	－	接着系アンカーボルトにおいて，へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数
C_1，C_2，C_3	mm	接着系アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチの 1/2
P_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容引張力
P_{a3}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容引張力
ϕ_3	－	接着系アンカーボルトの許容引張力を決定する際の付着力による低減係数(=2/3)
τ_a	N/mm^2	接着系アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチを考慮した引張力に対する付着強度
τ_{bavg}	N/mm^2	接着系アンカーの基本平均付着強度で，カプセル式・有機系の場合（$=10\sqrt{}(F_c/21)$
P_a	kN	接着系アンカーボルト１本当たりの短期許容引張力
Q_a	kN	接着系アンカーボルト１本当たりの短期許容せん断力
Q_{a3}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容せん断力
${}_c\sigma_t$	N/mm^2	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度（$=0.31\times\sqrt{F_c}$）

6.1.2　評価対象部位

固縛装置の評価対象部位は，「2.2　固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき，「2.3　荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1)　連結材

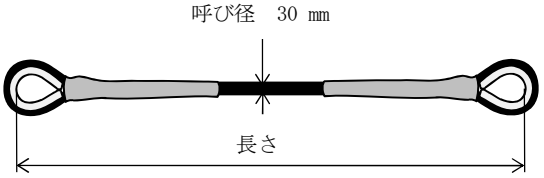
・連結材本体（高強度繊維ロープ）

＊：連結材に作用する荷重を，メーカ提示値の規格引張強度と比較するため，評価対象部位は図 6-1 に示す高強度繊維ロープ本体とする。

また，[redacted]

高強度繊維ロープ（φ22）を評価対象部位として選定する。

なお，上記の[redacted]の日常管理の運用については，保安規定に定めて管理する。



（高強度繊維ロープφ30 mm（被覆部）
φ22 mm（被覆無し部））

図 6-1　連結材の評価対象部位

(2)　固定材

a.　フレノ・リンクボルト

・フレノ・リンクボルト本体

＊：フレノ・リンクボルトに作用する荷重は，メーカ提示の使用荷重及び安全係数によって，使用荷重に対し安全係数を考慮した値と比較するため評価対象部位はフレノ・リンクボルト本体とする。

b.　アンカープレート

アンカープレートについては，ベースプレートを評価対象部位として設定する。

・ベースプレート

(3)　基礎部（アンカーボルト）

接着系アンカーボルトにより構成されるため，評価対象部位として設定する。

・接着系アンカーボルト

固定材（フレノ・リンクボルト及びアンカープレート）及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位を図 6-2 に示す。

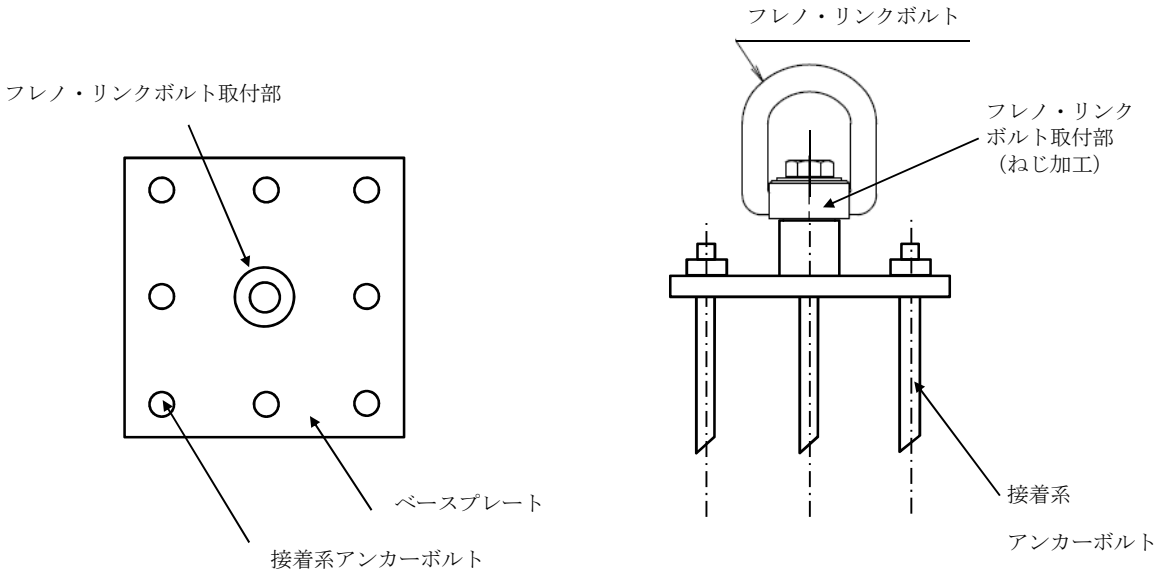


図 6-2　固定材及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

6.1.3　評価方法

(1)　連結材の評価方法

連結材に作用する荷重が，固縛装置の設置箇所数×連結材 1 組当たりの許容限界を超えないことを確認するため，連結材 1 組当たりに作用する荷重を，以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し，そのうち最も大きい荷重を選定する。

a.　浮き上がり時

設計竜巻の風荷重による揚力が固縛対象設備に作用して浮き上がる状態を考える。固縛対象設備が浮き上がった場合には，両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから連結材に作用する荷重を以下の式により算定する。浮き上がり時の評価モデルの概要図を図 6-3 に示す。

連結材に作用する荷重のうち，メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を，浮き上がり時の連結材の検討用荷重P_1とする。

$$P_1=\max\left(\frac{P}{n_1}\cdot\frac{1}{\sin\theta_{V1}},\ \frac{P}{2}\right)=\frac{P}{n_1}\cdot\frac{1}{\sin\theta_{V1}}\quad(n_1\cdot\sin\theta_{V1}\leq 2\ \text{より})$$

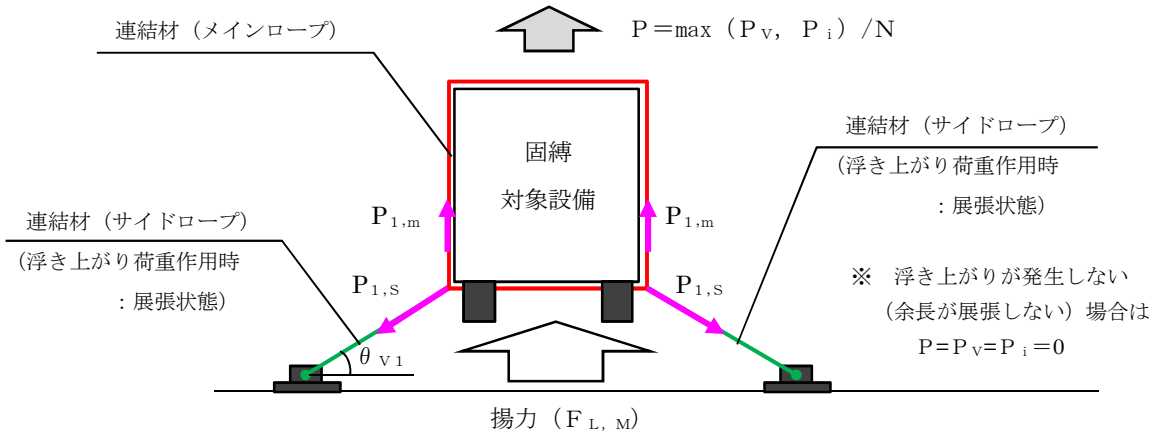


図 6-3　浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要図

b.　横滑り時

設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して横滑りする状態を考え，連結材に作用する荷重は算定するが，横滑りの方向により連結材に作用する荷重状態が異なるため，横滑り方向に対して，荷重を算定する。

(a)　側面方向の横滑り時

固縛対象設備が側面方向（進行方向直角方向）に横滑りした場合には，固縛装置は片側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））のみで抵抗することとなるから，連結材の検討用荷重P_1は以下の式により算定する。横滑り時（側面方向）の評価モデルの概要図を図 6-4 に示す。

連結材に作用する荷重のうち，メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を，側面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重P_1とする。

$$P_1=\max\left(P\cdot\frac{1}{\cos\theta_{V2}},\ \frac{P}{2}\right)=P\cdot\frac{1}{\cos\theta_{V2}}\quad(\cos\theta_{V2}\leq 1<2\ \text{より})$$

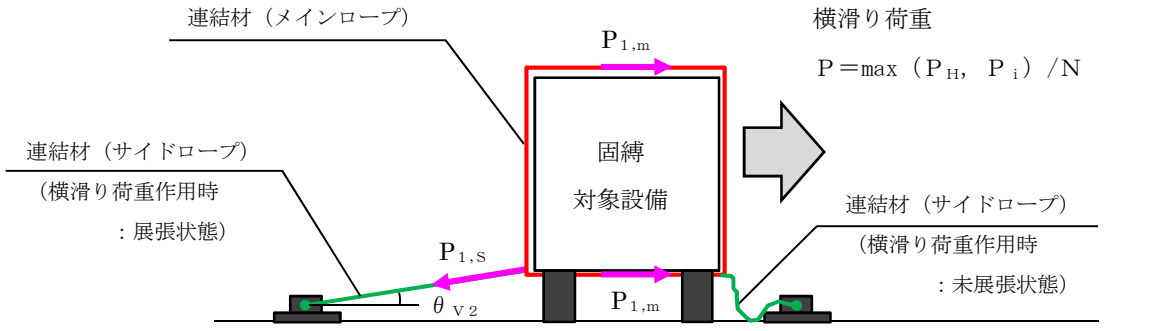


図 6-4　横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(b) 正面方向の横滑り時

固縛対象設備が正面方向（進行方向）に横滑りした場合には，両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから，連結材の検討用荷重P_1は以下の式により算定する。横滑り時（正面方向）の評価モデルの概要図を図 6-5 に示す。

連結材に作用する荷重のうち，メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を，正面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重P_1とする。

$$P_1=\max\left(\frac{P}{n_1}\cdot\frac{1}{\sin\theta_H}\cdot\frac{1}{\cos\theta_{V2}},\ \frac{P}{n_1}\cdot\frac{1}{\tan\theta_H}\right)$$

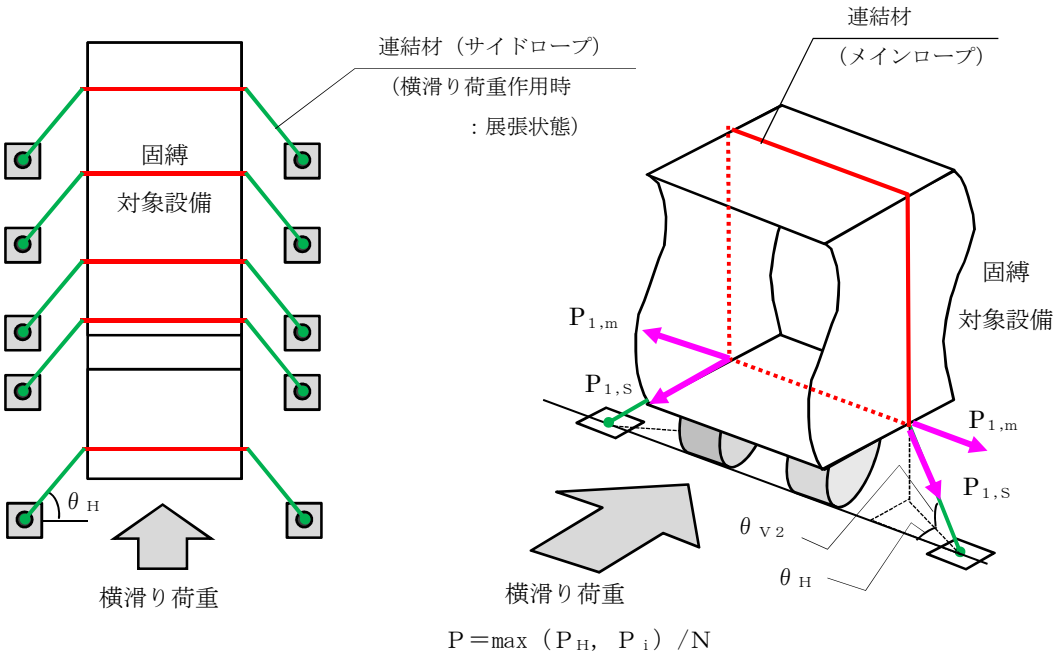


図 6-5 横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(2) 固定材の評価方法

a. フレノ・リンクボルトの評価方法

フレノ・リンクボルトに作用する荷重も連結材と同様に，固縛装置の設置箇所数×フレノ・リンクボルト１本当たりの許容限界を超えないことを確認するため，フレノ・リンクボルト１本当たりに作用する荷重を，以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し，そのうち最も大きい荷重を選定する。

なお，フレノ・リンクボルトは連結材のうちサイドロープと同一の作用線上に配置されることから，連結材のサイドロープの荷重を検討用荷重P_2とする。

また，荷重の評価モデルは連結材と同様である。

(a) 浮き上がり時

浮き上がり時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重P_2は以下の式で算定する。

$$P_2 = \frac{P}{n_2} \cdot \frac{1}{\sin\theta_{V1}}$$

(b) 横滑り時

イ. 側面方向の横滑り時

側面方向の横滑り時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重P_2は以下の式で算定する。

$$P_2 = P \cdot \frac{1}{\cos\theta_{V2}}$$

ロ. 正面方向の横滑り時

正面方向の横滑り時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重P_2は以下の式で算定する。

$$P_2 = \frac{P}{n_2} \cdot \frac{1}{\cos\theta_{H}} \cdot \frac{1}{\cos\theta_{V2}}$$

b. アンカープレートの評価方法

(a) 計算モデル

アンカープレートは，フレノ・リンクボルトを介して荷重を受けるため，フレノ・リンクボルトの角度により，図 6-6 に示すｘ，ｙ，ｚ方向にフレノ・リンクボルトに作用する荷重P_2の分力として，検討用荷重P_3が作用する。

アンカープレートの評価は，浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して，作用する方向の検討用荷重に対して部材断面に生ずる荷重等を算定し，評価を行う。

なお，フレノ・リンクボルトはボルト芯を軸として回転し，アンカープレートの仕様も含めて，ｘ方向とｙ方向は同一の評価条件となり，ｘ，ｙ方向は同じ検討モデルとなるため，以降ではｘ方向に作用する場合を示す。

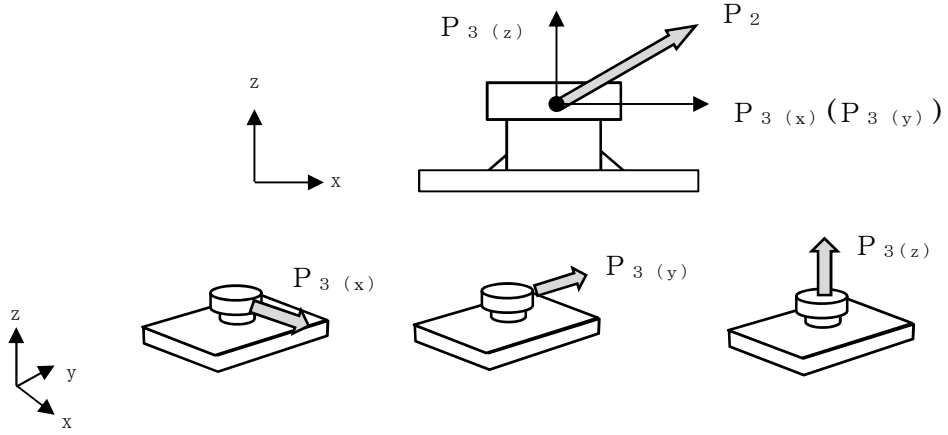
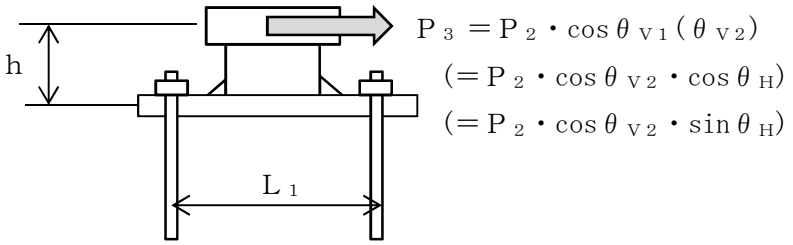


図 6-6 アンカープレートの計算モデルの概要図

(b) 計算方法

イ. x（y）方向荷重時の検討

アンカープレートのうち，ベースプレートに対し，x方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を図 6-7 に示す。前述のとおり，x方向とy方向の計算モデルは同一条件であるため，x方向のモデルにて示す。



$${}_BM_y = P_3 \cdot h / 2$$

$${}_BQ_x = {}_BM_y / (L_1 / 2)$$

図 6-7　x方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重P_3によるベースプレートのy軸まわり曲げモーメント${}_BM_y$は，以下の式により算定する。

$${}_BM_y = P_3 \cdot \frac{h}{2}$$

ベースプレートのy軸まわりの塑性断面係数${}_BZ_{py}$は，以下の式により算定する。

$${}_BZ_{py} = \frac{{}_BB \cdot {}_Bt^2}{4}$$

許容限界であるベースプレートのy軸まわりの終局曲げモーメント${}_BM_{py}$は，「鋼構造塑性設計指針」に基づき，以下の式により算定する。

$${}_BM_{py} = \sigma_y \cdot {}_BZ_{py} \cdot 10^{-3}$$

・せん断に対する検討

検討用荷重P_3によるベースプレートのせん断力${}_BQ_x$は，以下の式により算定する。

$${}_BQ_x = \frac{{}_BM_y}{\frac{L_1}{2}}$$

ベースプレートの断面積$_{B}A$は，以下の式により算定する。

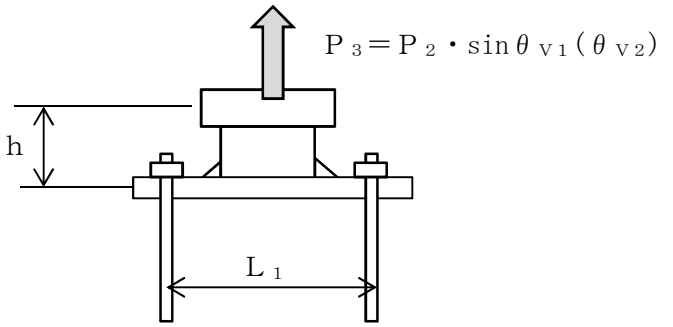
$$_{B}A = {}_{B}B \cdot {}_{B}t$$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力$_{B}Q_{px}$は，「鋼構造塑性設計指針」に基づき，以下の式により算定する。

$$_{B}Q_{px} = \tau_{y} \cdot {}_{B}A \cdot 10^{-3}$$

ロ．　z 方向荷重時の検討

アンカープレートのうち，ベースプレートに対し，z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を図 6-8 に示す。



$$_{B}M_{y_z} = P_{3} \cdot L_{1} / 4$$

$$_{B}Q_{x_z} = P_{3} / 2$$

図 6-8　z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重P_{3}によるベースプレートのｙ軸まわり曲げモーメント$_{B}M_{y_z}$は，以下の式により算定する。

$$_{B}M_{y_z} = P_{3} \cdot \frac{L_{1}}{4}$$

ベースプレートのｙ軸まわりの塑性断面係数$_{B}Z_{py}$は，以下の式により算定する。

$$_{B}Z_{py} = \frac{{}_{B}B \cdot {}_{B}t^{2}}{4}$$

許容限界であるベースプレートのｙ軸まわりの終局曲げモーメント$_{B}M_{py}$は，「鋼構造塑性設計指針」に基づき，以下の式により算定する。

$$_{B}M_{py} = \sigma_{y} \cdot {}_{B}Z_{py} \cdot 10^{-3}$$

・せん断に対する検討

検討用荷重P_3によるベースプレートのせん断力${}_BQ_{x_z}$は，以下の式により算定する。

$$ {}_BQ_{x_z} = \frac{P_3}{2} $$

ベースプレートの断面積${}_BA$は，以下の式により算定する。

$$ {}_BA = {}_BB \cdot {}_Bt $$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力${}_BQ_{pz}$は，「鋼構造塑性設計指針」に基づき，以下の式により算定する。

$$ {}_BQ_{pz} = \tau_y \cdot {}_BA \cdot 10^{-3} $$

(3) 基礎部（アンカーボルト）の評価方法

a. 接着系アンカーボルトの評価方法

(a) 計算モデル

接着系アンカーボルトもアンカープレートの評価と同様に，浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して，作用する方向の検討用荷重に対してアンカーボルトに生ずる荷重等を算定し，評価を行う。

(b) 引張に関する検討

接着系アンカーボルトの降伏引張耐力に関する検討は以下による。

アンカーボルトの有効断面積${}_AA_e$は，以下の式により算定する。

$$ {}_AA_e = {}_A\alpha \cdot \frac{\pi \cdot d_a{}^2}{4} $$

z 方向の検討用荷重P_3によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力${}_AT_V$は，以下の式により算定する。

$$ {}_AT_V = \frac{P_3}{n} $$

x 又はｙ方向の検討用荷重P_3によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力${}_AT_H$は，以下の式により算定する。

$$ {}_AT_H = \frac{P_3 \cdot h}{\frac{7}{8} d_t \cdot n'} $$

アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力P_{a1}は，以下の式により算定する。

$$ P_{a1} = \phi_1 \cdot f_t \cdot {}_AA_e \cdot 10^{-3} $$

アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト1本当たりの許容引張力P_{a3}は，以下の式により算定する。

$$P_{a3}=\phi_3\cdot\tau_a\cdot\pi\cdot {}_Ad_a\cdot {}_AL_{ce}\cdot 10^{-3}$$

接着系アンカーボルトにおける付着強度τ_aは以下の式により算定する。

$$\tau_a=\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\alpha_3\cdot\tau_{bavg}$$

接着系アンカーボルトにおいて，へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数は以下の式により算定する。

$$\alpha_n:0.5\cdot\left(C_n/{}_AL_{ce}\right)+0.5$$

$${}_AL_e={}_AL-d_a$$

$${}_AL_{ce}={}_AL_e-2\cdot d_a$$

ここで，

$(C_n/{}_AL_{ce})\geqq 1.0$ の場合は，$(C_n/{}_AL_{ce})=1.0$

${}_AL_e\geqq 10d_a$の場合は，${}_AL_e=10d_a$とする。

アンカーボルト1本当たりの短期許容引張力P_aは，以下の式により算定する。

$$P_a=\min\left(P_{a1},\ P_{a3}\right)$$

(c) せん断に関する検討

検討用荷重P_3によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力${}_AQ$は，以下の式により算定する。

$${}_AQ=\frac{P_3}{n}$$

アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト1本当たりの許容せん断力Q_{a1}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a1}=\phi_1\cdot {}_s\sigma_{qa}\cdot {}_AA_e\cdot 10^{-3}$$

定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力Q_{a2}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a2}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_{qa}\cdot {}_AA_e\cdot 10^{-3}$$

せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積A_{qc}は，アンカーボルトのへりあき寸法をcとすると以下の式により算定する。

$$A_{qc}=0.5\cdot\pi\cdot c^2$$

定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト1本当たりの許容せん断力Q_{a3}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a3} = \phi_2 \cdot {}_c\sigma_t \cdot A_{qc} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト1本当たりの短期許容せん断力Q_aは，以下の式により算定する。

$$Q_a = \min\left(Q_{a1},\ Q_{a2},\ Q_{a3}\right)$$

(d) 引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張力とせん断力の組合せ力に対する検定は，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき，以下の式によって行う。

$$\left[\frac{{}_AT_H + {}_AT_V}{P_a}\right]^2 + \left[\frac{{}_AQ}{Q_a}\right]^2 \leq 1$$

6.2 収納ラック

6.2.1 記号の定義

(1) 強度評価の記号の定義

基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表6-3に示す。

表 6-3　基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
W_W	kN	収納ラックに作用する風荷重
$F_{L,m}$	kN	収納ラックに作用する保守的に設定した揚力
A	m^2	収納ラックの最大見付面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	－	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
ρ	kg/m^3	空気密度
C_{Di}（i=1, 2, 3）	－	収納ラックの形状に応じた抗力係数
A_i（i=1, 2, 3）	m^2	収納ラックの各面の見付面積
H	m	収納ラックの高さ（風荷重の作用位置）
m	kg	収納ラックの質量
g	m/s^2	重力加速度（g＝9.80665）
F	N/mm^2	鋼材の基準強度
f_t	N/mm^2	検討対象部材の短期許容引張応力度
N	本	収納ラックの基礎部のアンカーボルトの全数
L_1	m	側面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離
L_2	m	正面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離
n_1	本	側面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数
n_2	本	側面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数
P_1	kN	揚力によりアンカーボルト1本当たりに生じる引張力
P_2	kN	風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト1本当たりに生じる引張力
Q	kN	風荷重によりアンカーボルト1本当たりに生じるせん断力
$_A\alpha$	－	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数（=0.75）
$_AA_e$	mm^2	アンカーボルトの有効断面積

表 6-3　基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
ϕ_1	－	アンカーボルトの許容引張力を決定する際の低減係数で，アンカーボルトの降伏による場合は 1.0 アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で，アンカーボルトのせん断強度による場合は 1.0
F_c	N/mm^2	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度（＝40）
$_s\sigma_{qa}$	N/mm^2	接着系アンカーボルトの短期許容せん断応力度（＝0.7×f_t）
$_AQ$	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力
γ	kN/m^3	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量
Q_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
Q_{a2}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
ϕ_2	－	アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で，コンクリートの支圧及び躯体のコーン状破壊による場合は 2/3
$_c\sigma_{qa}$	N/mm^2	基礎コンクリートの支圧強度で，$0.5\times\sqrt{(F_c\cdot E_c)}$
E_c	N/mm^2	コンクリートのヤング係数で，$3.35\times10^4\times(\gamma/24)^2\times(F_c/60)^{1/3}$
A_{qc}	mm^2	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
$_AL$	mm	接着系アンカーボルトにおいては，埋込長さ
$_AL_e$	mm	接着系アンカーボルトの有効埋込長さ
$_AL_{ce}$	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
$_Ad_a$	mm	接着系アンカーボルトの呼び径
α_1 α_2 α_3	－	接着系アンカーボルトにおいて，へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数
C_1，C_2，C_3	mm	接着系アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチの 1/2
P_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
P_{a3}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
ϕ_3	－	接着系アンカーボルトの許容引張力を決定する際の付着力による低減係数(=2/3)
τ_a	N/mm^2	接着系アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチを考慮した引張力に対する付着強度
τ_{bavg}	N/mm^2	接着系アンカーの基本平均付着強度で，カプセル式・有機系の場合（$=10\sqrt{(F_c/21)}$）

表 6-3　基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
P_a	kN	接着系アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
Q_a	kN	接着系アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力
Q_{a3}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
${}_c\sigma_t$	N/mm^2	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度（$=0.31\times\sqrt{F_c}$）

6.2.2　評価対象部位

収納ラックの評価対象部位は，「2.2　固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき，「2.3　荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1)　基礎部（アンカーボルト）

接着系アンカーボルトにより構成されるため，評価対象部位として設定する。

・接着系アンカーボルト

基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位を図 6-9 に示す。

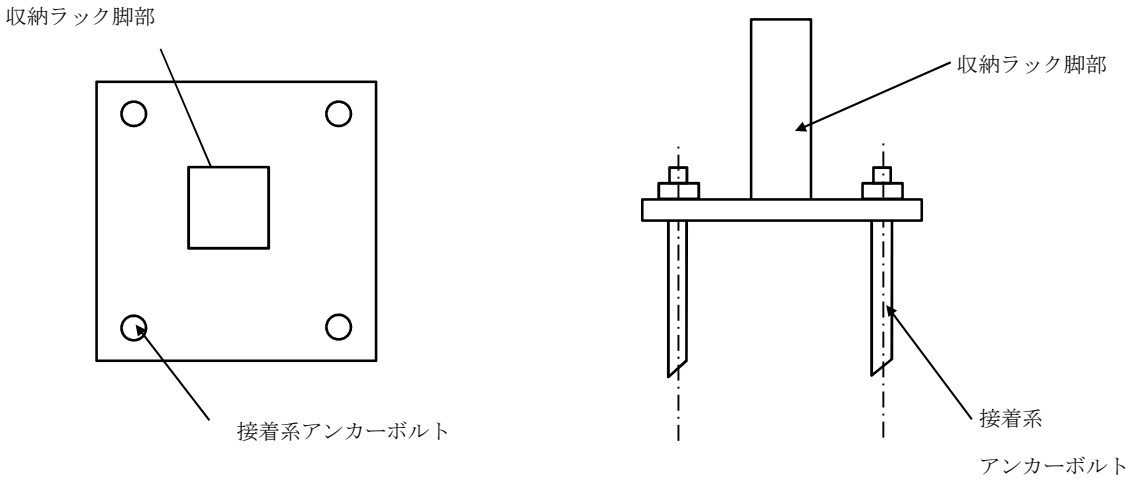


図 6-9　基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

6.2.3　評価方法

(1)　収納ラックの評価モデル

収納ラックに設計竜巻による風荷重が作用し，浮き上がり及び転倒の荷重状態を考慮して，図 6-10 に示す計算モデルにて，作用する方向の荷重に対して，アンカーボルトに発生する荷重を算定し，評価を行う。

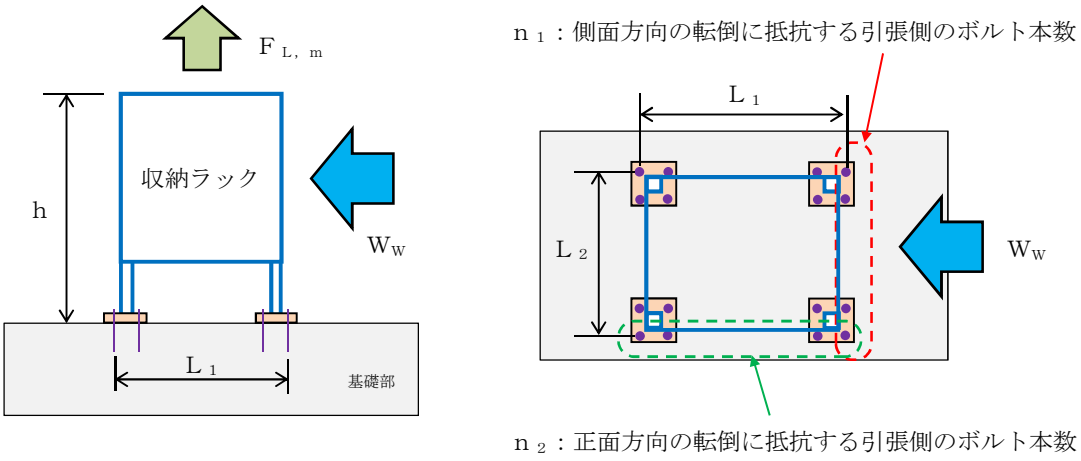


図 6-10　収納ラックの計算モデル図

(2)　収納ラックの評価方法

a.　アンカーボルトに作用する荷重

揚力によりアンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力P_1は，以下の式により算出する。

$$P_1 = \frac{F_{L,m}}{N}$$

風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力P_2は以下の式により算出する。この時，風荷重の作用位置は保守的に収納ラックの頂部位置に設定する。

$$P_2 = \frac{W_W \cdot H}{L_1 \cdot n_1}$$　（側面方向からの風荷重）

$$P_2 = \frac{W_W \cdot H}{L_2 \cdot n_2}$$　（正面方向からの風荷重）

ここで，

H　：風荷重の作用位置（ラック頂部までの高さ）

n_1：側面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数

n_2：正面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数

L_1：側面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離（図 6-10 参照）

L_2：正面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離（図 6-10 参照）

風荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力Q_1は，以下の式により算出する。

$$Q_1 = \frac{W_W}{N}$$

b. 引張に関する検討

アンカーボルト1本当たりに生じる引張力Pは，以下による。

$$P = P_1 + P_2$$

アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力P_{a1}は，以下の式により算定する。

$$P_{a1} = \phi_1 \cdot f_t \cdot {}_AA_e \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力P_{a3}は，以下の式により算定する。

$$P_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot {}_Ad_a \cdot {}_AL_{ce} \cdot 10^{-3}$$

接着系アンカーボルトにおける付着強度τ_aは以下の式により算定する。

$$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$$

接着系アンカーボルトにおいて，へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数は以下の式により算定する。

$$\alpha_n : 0.5 \cdot (C_n / {}_AL_{ce}) + 0.5$$

$${}_AL_e = {}_AL - d_a$$

$${}_AL_{ce} = {}_AL_e - 2 \cdot d_a$$

ここで，

$(C_n/{}_AL_{ce}) \geqq 1.0$ の場合は，$(C_n/{}_AL_{ce}) = 1.0$

${}_AL_e \geqq 10d_a$の場合は，${}_AL_e = 10d_a$とする。

アンカーボルト1本当たりの短期許容引張力P_aは，以下の式により算定する。

$$P_a = \min\left(P_{a1},\ P_{a3}\right)$$

c. せん断に関する検討

アンカーボルトに生じるせん断力Qは，以下による。

$$Q = Q_1$$

アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト1本当たりの許容せん断力Q_{a1}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a1} = \phi_1 \cdot {}_s\sigma_{qa} \cdot {}_A A_e \cdot 10^{-3}$$

定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト1本当たりの許容せん断力Q_{a2}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a2} = \phi_2 \cdot {}_c\sigma_{qa} \cdot {}_A A_e \cdot 10^{-3}$$

せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積A_{qc}は，アンカーボルトのへりあき寸法をcとすると以下の式により算定する。

$$A_{qc} = 0.5 \cdot \pi \cdot c^2$$

定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト1本当たりの許容せん断力Q_{a3}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a3} = \phi_2 \cdot {}_c\sigma_t \cdot A_{qc} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト1本当たりの短期許容せん断力Q_aは，以下の式により算定する。

$$Q_a = \min\left(Q_{a1},\ Q_{a2},\ Q_{a3}\right)$$

d. 引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張力とせん断力の組合せ力に対する検定は，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき，以下の式によって行う。

$$\left[\frac{P}{P_a}\right]^2 + \left[\frac{Q}{Q_a}\right]^2 \leq 1$$

7. 適用規格

添付書類「Ⅴ-1-1-2-3-1　竜巻への配慮に関する基本方針」においては，竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち，屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度設計に用いる規格，基準等を以下に示す。

・日本工業規格（ＪＩＳ）
・鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - （（社）日本建築学会，2005 改定）
・鋼構造塑性設計指針（（社）日本建築学会，2010 改定）
・建築基準法及び同施行令
・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）
・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）

Ⅴ-3-別添 1-3-1　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 2
2.2 全体の構造概要 3
2.3 構成要素の構造概要 4
2.4 評価方針 6
2.5 適用規格 7
3. 強度評価方法 8
3.1 固縛装置 8
3.1.1 記号の定義 8
3.1.2 評価対象部位 14
3.1.3 荷重及び荷重の組合せ 16
3.1.4 許容限界 21
3.1.5 評価方法 21
3.2 収納ラック 29
3.2.1 記号の定義 29
3.2.2 評価対象部位 32
3.2.3 荷重及び荷重の組合せ 32
3.2.4 許容限界 34
3.2.5 評価方法 34
4. 評価条件 38
4.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価条件 38
4.2 可搬型整流器の収納ラックの評価条件 41
5. 評価結果 43
5.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価結果 43
5.2 可搬型整流器の収納ラックの評価結果 45

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」に示すとおり，固縛装置が必要となる屋外の重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）の固縛装置又は屋外の重大事故等対処設備を保管する収納ラック等（以下「収納ラック」という。）が，竜巻襲来時における設計竜巻による荷重とこれを組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）が固縛対象設備又は収納ラックに作用した場合であっても，固縛状態又は固定状態を維持するために必要な構造強度を有するように，固縛構成要素等に作用する荷重が許容限界以下であることを確認するものである。

2. 基本方針

(1) 固縛装置

固縛対象設備に設置する固縛装置は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「3.　設計方針」に示すとおり，固縛対象設備の構造によって連結材の余長の有無に違いはあるが，固縛装置の構成要素の組合せは，表 2-1 に示す１つである。

当該固縛装置に対して，強度評価を行い，固縛状態を維持するため必要な構造強度を有していることを確認する。

なお，固縛対象設備の設置される固縛装置の強度評価の結果，許容限界に対する裕度が最も低い固縛装置は，「可搬型代替注水中型ポンプ」に設置する固縛装置であり，本資料においては，当該固縛装置の評価結果を示す。

表 2-1　固縛装置の構成

固縛対象設備	連結材	固定材	基礎部 （アンカーボルト）	対象の固縛対象設備数
車両型	高強度繊維ロープ （余長あり）	フレノ・リンクボルト	接着系 アンカーボルト	7
車両型以外	高強度繊維ロープ （余長なし）			10

(2) 収納ラック

収納ラックは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「3.　設計方針」に示すとおり，竜巻による風荷重により飛散することのないよう，基礎部（アンカーボルト）にて抵抗する構造であり，当該構造は対象となる収納ラックは同一である。

収納ラックの基礎部に対して，強度評価を行い，固定状態を維持するため必要な構造強度を有していることを確認する。

なお，収納ラックの強度評価の結果，許容限界に対する裕度が最も低い収納ラックは，可搬型整流器の収納ラックであり，本資料においては当該収納ラックの評価結果を示す。

2.1　位置

屋外に設置する重大事故等対処設備は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-3-4　竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」の「2.　設計の基本方針」のとおり，位置的分散等を考慮した保管としており，固縛対象設備も同様であり，それぞれ可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側）及び可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）に保管しており，これらの固縛装置及び収納ラックも同じ場所に設置する。

固縛装置及び収納ラックの設置位置図を図 2-1 に示す。

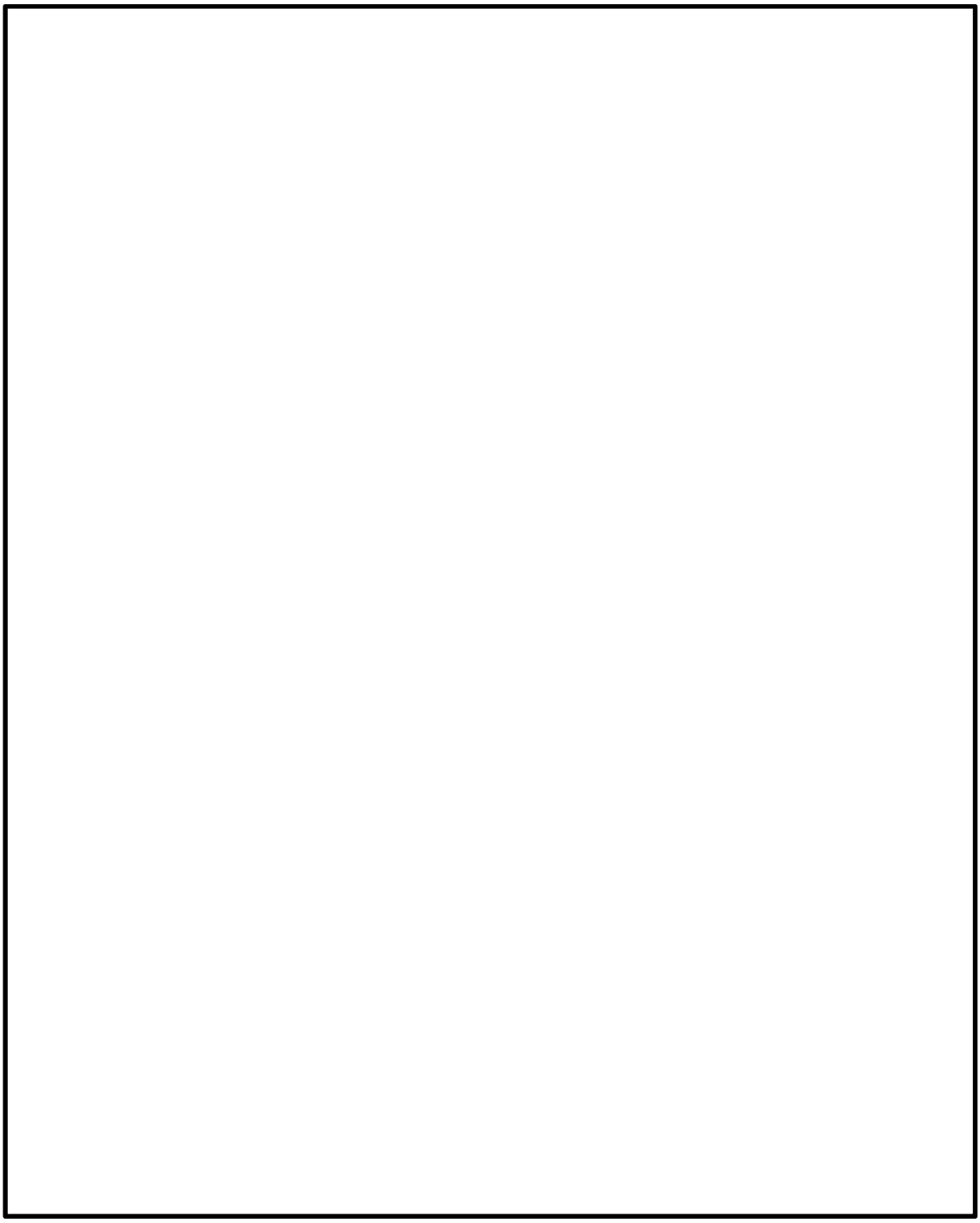


図 2-1　固縛装置の設置位置図

NT2 補② Ⅴ-3-別添 1-3-1 R7

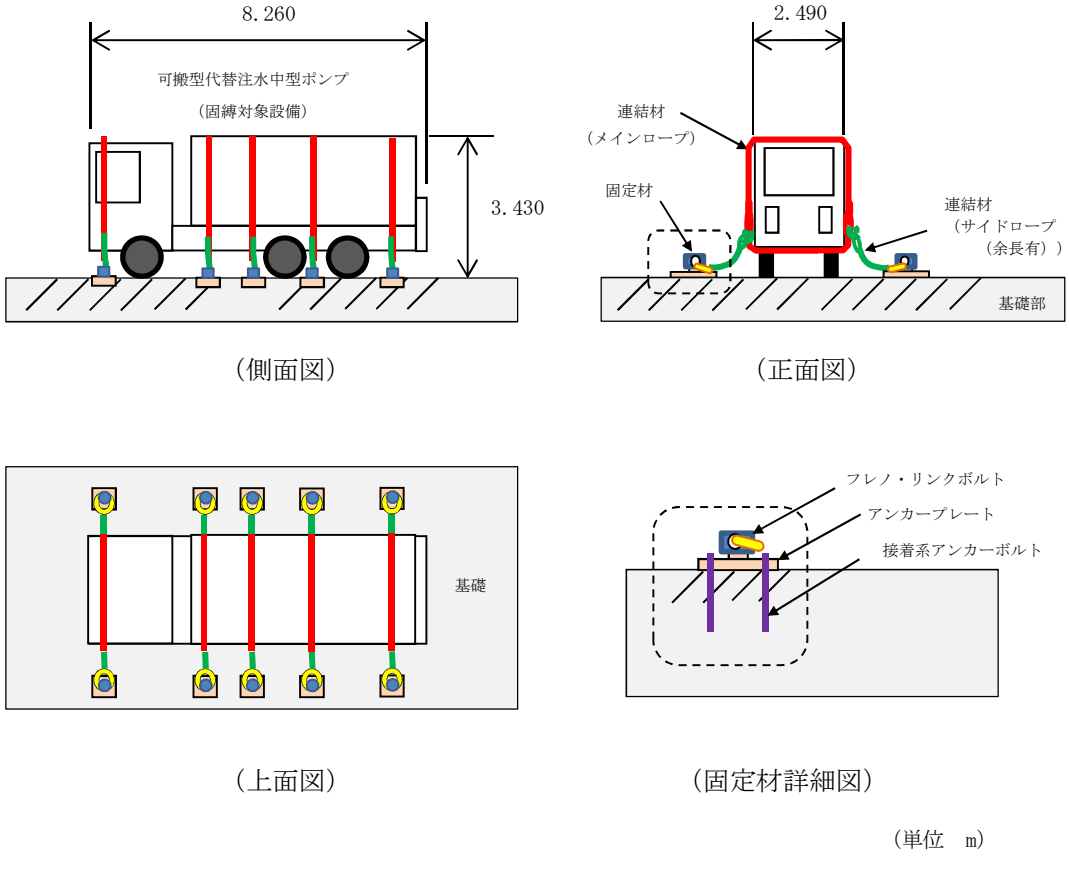
2.2　全体の構造概要

固縛対象設備の固縛装置及び収納ラックの構造は，添付書類「V-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.2　固縛装置の構造」を踏まえて設定する。

固縛対象設備の固縛装置は，連結材，固定材及び基礎部（アンカーボルト）から構成される。また，収納ラックは，ラック本体及び基礎部（アンカーボルト）から構成される。

(1)　固縛装置全体の構造概要

固縛装置は，連結材（高強度繊維ロープ）を固定材であるフレノ・リンクボルト及びアンカープレートと接続し，固定材と基礎部を接着系アンカーボルトで固定する構造である。可搬型代替注水中型ポンプに設置する固縛装置の概要を図 2-2 に示す。



（側面図）　（正面図）

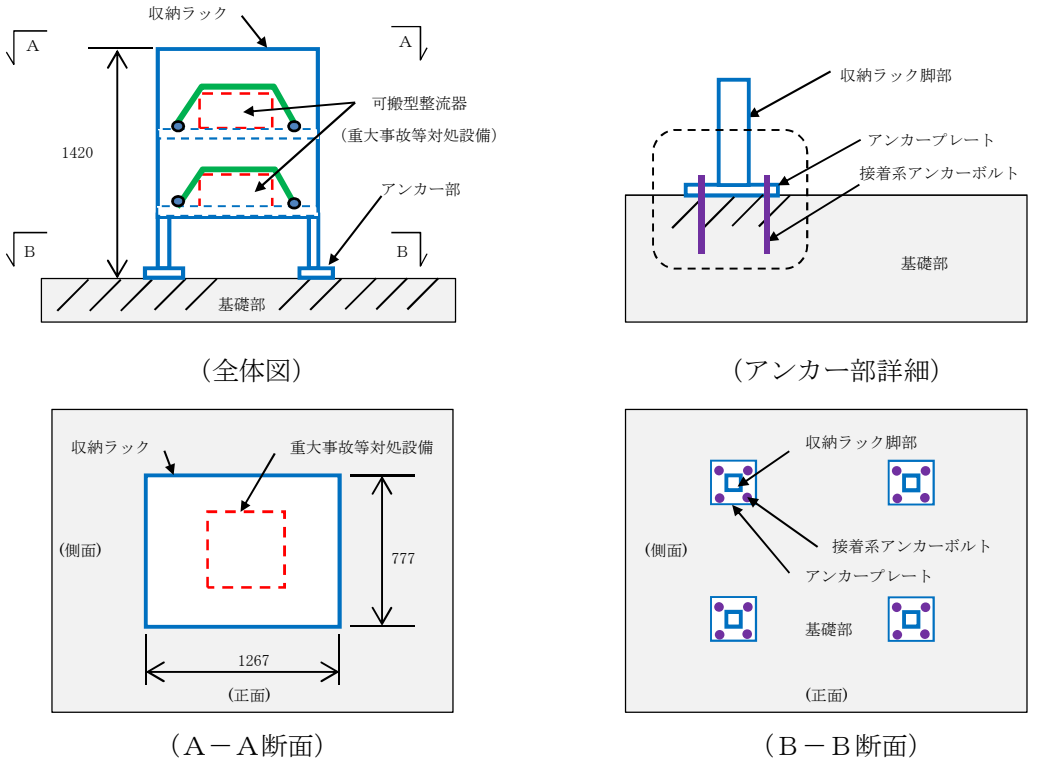
（上面図）　（固定材詳細図）

（単位　m）

図 2-2　可搬型代替注水中型ポンプの固縛装置の概要図

(2)　収納ラックの構造概要

収納ラックは，収納ラック本体と基礎部を接着系アンカーボルトで固定する構造である。可搬型整流器の収納ラックの概要を図 2-3 に示す。



（単位　mm）

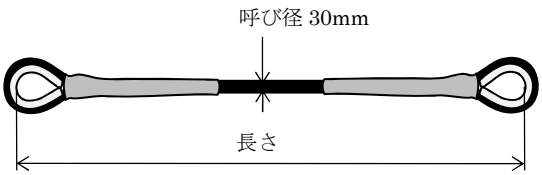
図 2-3　可搬型整流器の収納ラックの概要図

2.3　構成要素の構造概要

(1)　固縛装置

固縛対象設備の固縛装置の構成要素は，連結材，固定材及び基礎部（アンカーボルト）であり，固縛対象設備に作用する荷重が連結材から固定材へ伝達し，基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

連結材の概要を図 2-4 に，固定材のうちフレノ・リンクボルトの概要図を図 2-5 に，固定材のうちアンカープレート及び基礎部（アンカーボルト）の概要図を図 2-6 に示す。



（高強度繊維ロープ φ30 mm（被覆部）

φ22 mm（被覆無し部））

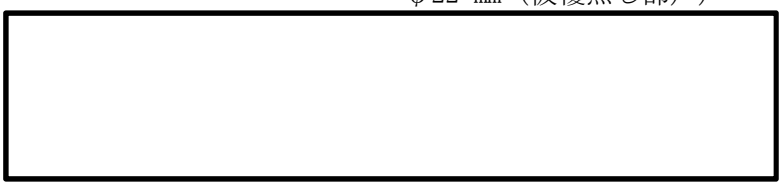
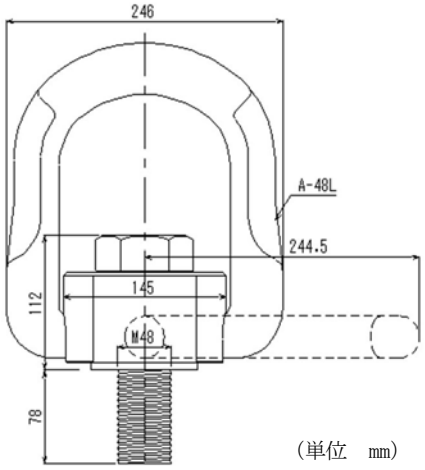


図 2-4　連結材の概要図



（フレノ・リンクボルト(A-48L)）

図 2-5　フレノ・リンクボルトの概要図

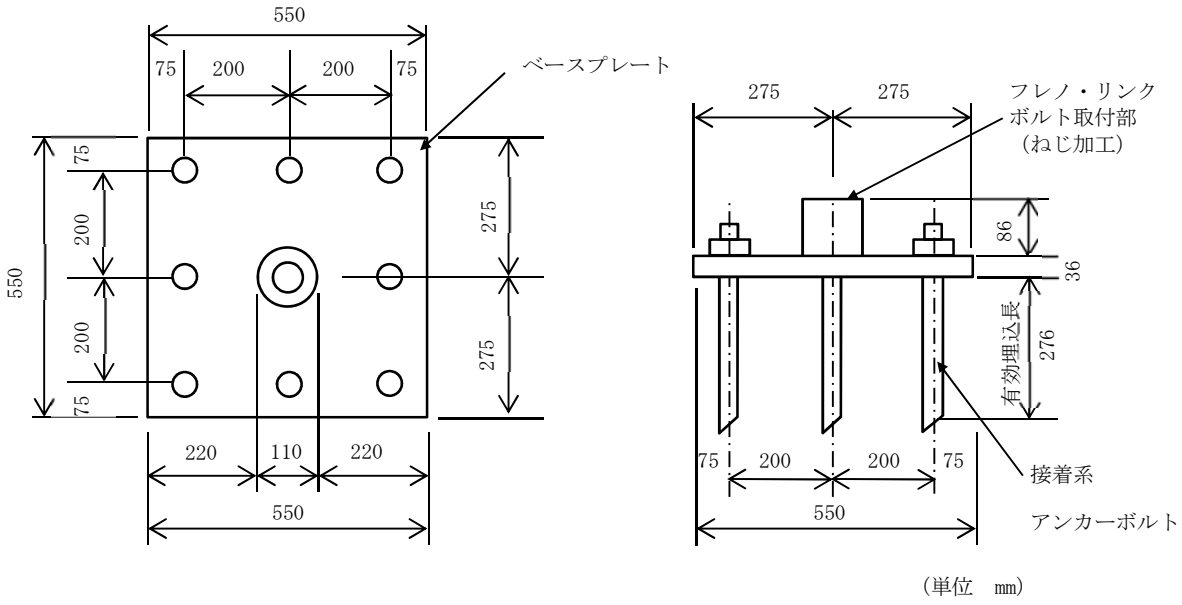


図 2-6　固定材（アンカープレート）及び基礎部（アンカーボルト）の概要図

(2)　収納ラック

収納ラックの構成要素は，ラック本体及び基礎部（アンカーボルト）であり，収納ラックに作用する荷重がラック本体から脚部へ伝達し，基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

基礎部のうちアンカーボルトの概要図を図 2-7 に示す。

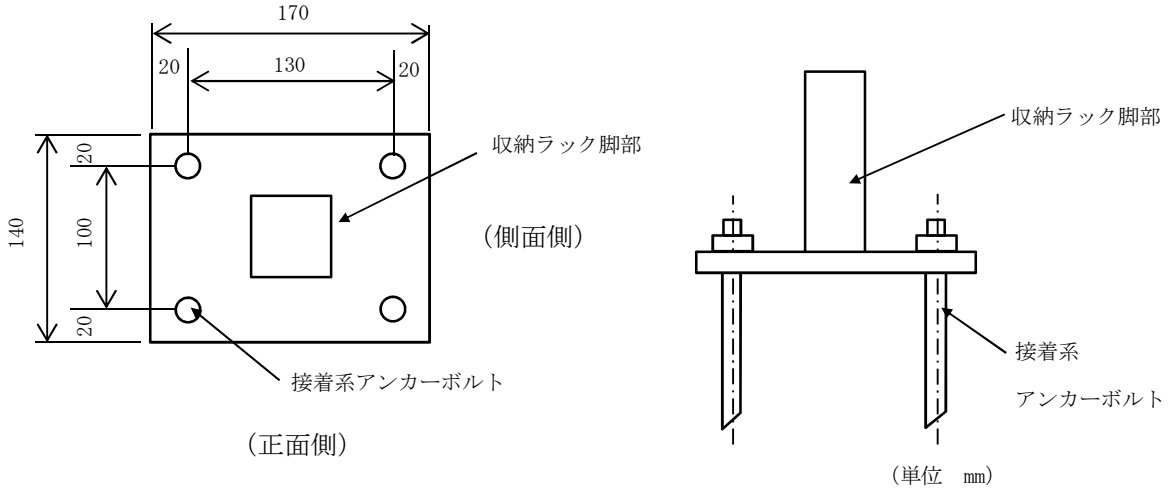


図 2-7　基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

2.4　評価方針

固縛装置の強度評価は，設計荷重が固縛装置に作用することにより評価対象部位に生ずる荷重及び応力等が，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5.　許容限界」に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　評価結果」にて確認する。

収納ラックの強度評価は，設計荷重が収納ラックに作用することにより，評価対象部位に作用する荷重及び応力等が，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5.　許容限界」に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　評価結果」にて確認する。

固縛装置及び収納ラックの強度評価において，その構造を踏まえ，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」に示す設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

(1)　強度評価方針

固縛装置及び収納ラックの強度評価フローを図 2-8 に示す。

固縛装置の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻の風圧力による荷重が固縛対象設備に作用した場合に，固縛装置を構成している連結材，固定材及び基礎部（アンカーボルト）に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が「3.4　許容限界」にて示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。

収納ラックの強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重が収納ラックに作用した場合に，収納ラックの基礎部に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が「3.4　許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

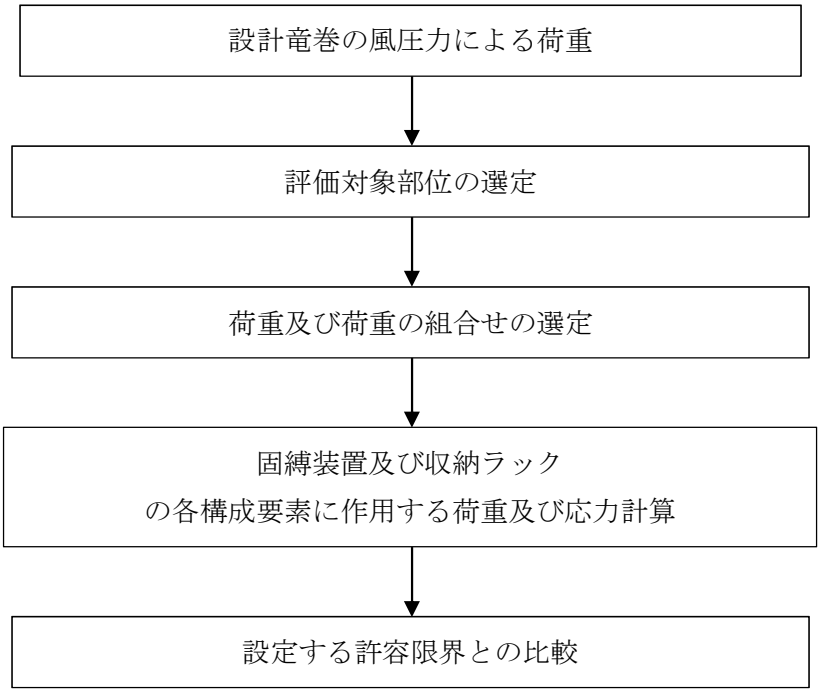


図 2-8　固縛装置の強度評価フロー

2.5　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・日本工業規格（ＪＩＳ）
・鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - （（社）日本建築学会，2005 改定）
・鋼構造塑性設計指針（（社）日本建築学会，2010 改定）
・建築基準法及び同施行令
・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）
・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）

3.　強度評価方法

3.1　固縛装置

3.1.1　記号の定義

(1)　強度評価の記号の定義

固縛対象設備に作用する荷重の評価に用いる記号を表 3-1，連結材の強度評価に用いる記号を表 3-2，固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-1　固縛対象設備に作用する荷重の算出に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
Rm	m	最大接線風速の生じる半径
Hi	m	流入層高さ
C_{Di}（i=1, 2, 3）	－	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
A_i（i=1, 2, 3）	m^2	固縛対象設備の各面の見付面積
W	m	固縛対象設備の幅
L	m	固縛対象設備の長さ
H	m	固縛対象設備の高さ
m	kg	固縛対象設備の質量
g	m/s^2	重力加速度（g＝9.80665）
ρ	kg/m^3	空気密度
q	N/m^2	設計用速度圧
G	－	ガスト影響係数
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
A	m^2	固縛対象設備の最大見付面積
$V_{SAS,F}$	m/s	固縛対象設備が浮き上がりを開始する風速
$V_{SAS,S}$	m/s	固縛対象設備が横滑りを開始する風速
C_DA/m	m^2/kg	空力パラメータ
μ_S	－	固縛対象設備と路面の静摩擦係数
μ_d	－	固縛対象設備と路面の動摩擦係数
X	mm	固縛装置の設計余長
L_{OF}	mm	固縛対象設備と固縛装置（アンカー点）のオフセット量
n	箇所	固縛装置の設置箇所数
n’	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数

表 3-1　荷重の算出に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
k	N/m	連結材の等価剛性（＝E_{RP}・A_{RP}／L_{RP}）
E_{RP}	N/mm^2	連結材の弾性係数
A_{RP}	mm^2	連結材の断面積
L_{RP}	m	連結材の長さ
F_d	kN	固縛対象設備の自重
$F_{L,m}$	kN	固縛対象設備に作用する保守的に設定した揚力
P_V	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
P_H	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
P_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重

表 3-2　連結材の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_d	kN	固縛対象設備の自重
P_V	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
P_H	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
P_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
n_1	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
P_1	kN	連結材 1 組当たりに作用する荷重
$P_{1,m}$	kN	連結材（メインロープ）1 組当たりに作用する荷重
$P_{1,s}$	kN	連結材（サイドロープ）1 組当たりに作用する荷重
θ_{V1}	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_{V2}	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時（正面方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置とのなす角度
A	m^2	固縛対象設備の最大見付面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	－	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
ρ	kg/m^3	空気密度
C_{Di}（i=1, 2, 3）	－	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
A_i（i=1, 2, 3）	m^2	固縛対象設備の各面の見付面積
H	m	固縛対象設備の高さ
m	kg	固縛対象設備の質量
g	m/s^2	重力加速度（g＝9.80665）

表 3-3　固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
F_d	kN	固縛対象設備の自重
P_V	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
P_H	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
P_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
n_2	個	固縛装置1箇所あたりの固定材の配置数
P_2	kN	フレノ・リンクボルト1本当たりに作用する荷重
P_3	kN	アンカープレート1箇所あたりに作用する荷重
θ_{V1}	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_{V2}	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時（正面方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置とのなす角度
A	m^2	固縛対象設備の最大見付面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	－	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
ρ	kg/m^3	空気密度
C_{Di}（i=1, 2, 3）	－	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
A_i（i=1, 2, 3）	m^2	固縛対象設備の各面の見付面積
H	m	固縛対象設備の高さ
m	kg	固縛対象設備の質量
g	m/s^2	重力加速度（g＝9.80665）
F	N/mm^2	鋼材の基準強度
σ_y	N/mm^2	検討対象部材の降伏応力度で，基準強度F値を1.1倍した値
τ_y	N/mm^2	検討対象部材のせん断降伏応力度（$\tau_y=\sigma_y/\sqrt{3}$）
f_b	N/mm^2	検討対象部材の短期許容曲げ応力度
f_t	N/mm^2	検討対象部材の短期許容引張応力度

表 3-3　固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
h	mm	ベースプレート板厚芯からのフレノ・リンクボルト芯までの高さ
L_1	mm	両端のアンカーボルト芯間距離
d_t	mm	ベースプレート端部から引張側アンカーボルト芯までの距離
${}_B B$	mm	ベースプレートの幅
${}_B t$	mm	ベースプレートの厚さ
${}_B Z_{py}$	mm^3	ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数
${}_B Z_{px}$	mm^3	ベースプレートの x 軸まわりの塑性断面係数
${}_B A$	mm^2	ベースプレートの断面積
${}_B M_y$	kN・mm	x 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
${}_B M_x$	kN・mm	y 方向検討荷重によるベースプレートの x 軸まわり曲げモーメント
${}_B M_{y_z}$	kN・mm	z 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
${}_B M_{py}$	kN・mm	ベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント
${}_B M_{px}$	kN・mm	ベースプレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント
${}_B Q_x$	kN	x 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_y$	kN	y 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_{x_z}$	kN	z 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_{px}$	kN	x 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_B Q_{py}$	kN	y 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_B Q_{pz}$	kN	z 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_A \alpha$	－	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
${}_A A_e$	mm^2	アンカーボルトの有効断面積
n	本	一組のアンカープレートにおけるアンカーボルト本数
n'	本	一組のアンカープレートにおける引張側アンカーボルト本数
${}_A T_V$	kN	z 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
${}_A T_H$	kN	x 又は y 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
ϕ_1	－	アンカーボルトの許容引張力を決定する際の低減係数で，アンカーボルトの降伏による場合は 1.0 アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で，アンカーボルトのせん断強度による場合は 1.0
F_c	N/mm^2	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度
${}_s \sigma_{qa}$	N/mm^2	接着系アンカーボルトの短期許容せん断応力度（$=0.7\times f_t$）
${}_A Q$	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力
γ	kN/m^3	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量

表 3-3　固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
Q_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容せん断力
Q_{a2}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容せん断力
ϕ_2	－	アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で，コンクリートの支圧及び躯体のコーン状破壊による場合は 2/3
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm^2	基礎コンクリートの支圧強度で，$0.5\times\sqrt{}$（$F_c\cdot E_c$）
E_c	N/mm^2	コンクリートのヤング係数で，$3.35\times10^4\times(\gamma/24)^2\times(F_c/60)^{1/3}$
A_{qc}	mm^2	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
${}_AL$	mm	接着系アンカーボルトにおいては，埋込長さ
${}_AL_e$	mm	接着系アンカーボルトの有効埋込長さ
${}_AL_{ce}$	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
${}_Ad_a$	mm	接着系アンカーボルトの呼び径
α_1 α_2 α_3	－	接着系アンカーボルトにおいて，へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数
C_1，C_2，C_3	mm	接着系アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチの 1/2
P_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容引張力
P_{a3}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容引張力
ϕ_3	－	接着系アンカーボルトの許容引張力を決定する際の付着力による低減係数(=2/3)
τ_a	N/mm^2	接着系アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチを考慮した引張力に対する付着強度
τ_{bavg}	N/mm^2	接着系アンカーの基本平均付着強度で，カプセル式・有機系の場合（$=10\sqrt{}(F_c/21)$
P_a	kN	接着系アンカーボルト１本当たりの短期許容引張力
Q_a	kN	接着系アンカーボルト１本当たりの短期許容せん断力
Q_{a3}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容せん断力
${}_c\sigma_t$	N/mm^2	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度（$=0.31\times\sqrt{F_c}$）

3.1.2　評価対象部位

固縛装置の評価対象部位は，「2.3　固縛装置構成要素の構造概要」にて設定している構造に基づき，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1)　連結材

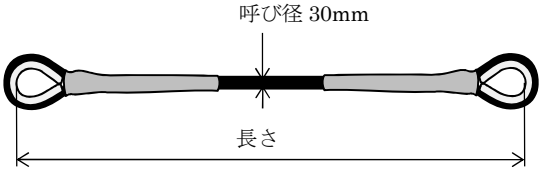
・連結材本体（高強度繊維ロープ）

＊：連結材に作用する荷重を，メーカ提示値の規格引張強度と比較するため，評価対象部位は図 3-1 に示す高強度繊維ロープ本体とする。

また，[redacted]

高強度繊維ロープ（φ22）を評価対象部位として選定する。

なお，上記の[redacted]の日常管理の運用については，保安規定に定めて管理する。



（高強度繊維ロープφ30㎜（被覆部）
φ22㎜（被覆無し部））

図 3-1　連結材の評価対象部位

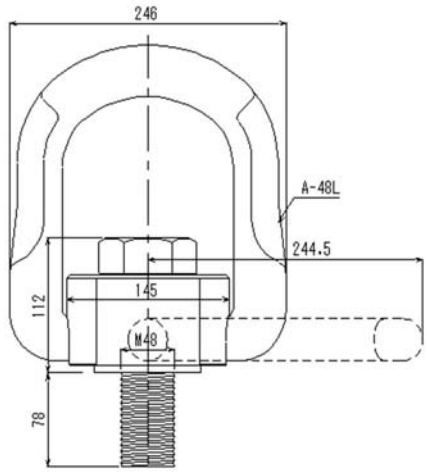
(2)　固定材

a.　フレノ・リンクボルト

・フレノ・リンクボルト本体

＊：フレノ・リンクボルトに作用する荷重は，メーカ提示の使用荷重及び安全係数によって，使用荷重に対し安全係数を考慮した値と比較するため評価対象部位はフレノ・リンクボルト本体とする。

フレノ・リンクボルトの評価対象部位を図 3-2 に示す。



（フレノ・リンクボルト(A-48L)）

図 3-2　フレノ・リンクボルトの評価対象部位

b.　アンカープレート

アンカープレートについては，ベースプレートを評価対象部位として設定する。

・ベースプレート

(3)　基礎部（アンカーボルト）

基礎部（アンカーボルト）は，接着系アンカーボルトを評価対象部位として設定する。

・接着系アンカーボルト

固定材（アンカープレート）及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位を図 3-3 に示す。

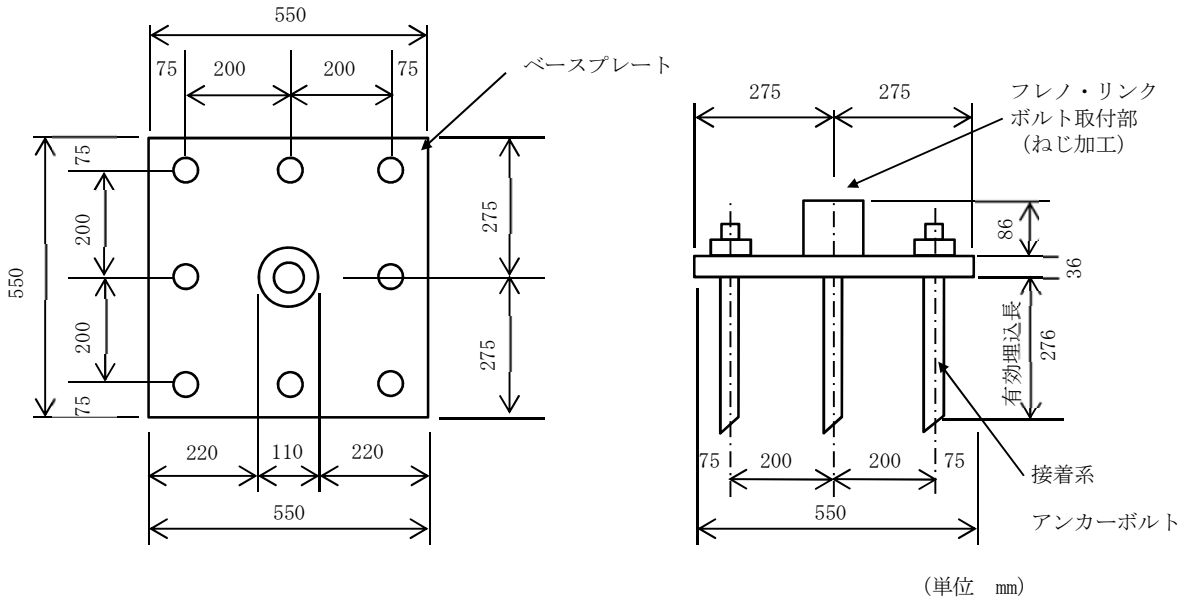


図 3-3　固定材（アンカープレート）及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

3.1.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

a.　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重とする。

b.　風圧力による荷重（W_W）

風圧力による荷重は，固縛対象設備に発生し，連結材，固定材（フレノ・リンクボルト及びアンカープレート）を介して基礎（アンカーボルト）に作用する。

添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3.1(1)　荷重の種類」に示すように，竜巻による最大風速は，一般的には水平方向の風速として設定され，これにより固縛対象設備は横滑りを生じるような力を受けるが，鉛直方向に対しても，風圧力により固縛対象設備に揚力が発生し，浮き上がりが生じるような力を受けるため，鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(a)　竜巻の風圧力による荷重

添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」に基づき，荷重を選定する。

イ．　浮き上がり荷重

固縛対象設備の浮き上がり時に発生する荷重P_Vは，設計竜巻により当該固縛対象設備に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は，固縛対象設備の形状による空力パラメータを用いて算出される揚力が自重を上回る（＝空力パラメータから算出される揚力－自重 ＞ 0 ）場合に上向きの力として固縛対象設備に作用する。

固縛対象設備に作用する揚力は，揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力$F_{L,m}$を用い，空力パラメータC_DA/mを用いた式に展開し，浮き上がり荷重P_Vは次に示す式により算出する。

$$P_V = F_{L,m} - m \cdot g = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}{}^2 \cdot C_D A - m \cdot g$$

$$= m\left(\frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}{}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right)$$

なお，空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき，以下のC_DA/mとして算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{0.33\left(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3\right)}{m}$$

ロ．　横滑り荷重

横滑りに伴い発生する荷重P_Hは，当該固縛対象設備に設計竜巻の風圧力による荷重が作用するときの水平力とし，「建築基準法施行令」及び「日本建築学会　建築物荷重指針・同解説」に準拠して，次に示すとおりW_Wとする。

$$P_H = W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ハ．　動的荷重

連結材（サイドロープ）に余長を有する固縛装置が作動（余長が展張）する時に固縛対象設備の急停止に伴い固縛装置に発生する動的荷重P_iは，添付書類「V-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3.1 (2)d.　動的荷重」に基づき，以下によって算出する。

（イ）　固縛対象設備の挙動開始風速の算出

固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを始める時の風速を算出する。

浮き上がり開始風速$V_{SAS,F}$は，浮き上がり荷重P_Vが 0 となる時の風速であり，以下の式によって算出する。

$$V_{SAS,F} = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\rho \cdot \frac{C_D A}{m}}}$$

横滑り開始風速$V_{SAS,S}$は，風圧力による荷重と静止摩擦力が釣り合った時の風速であり，以下の式によって算出する。

$$V_{SAS,S} = \sqrt{\frac{2\mu_s \cdot g}{\rho \cdot \left(\frac{GCA}{m} + \mu_s \frac{C_D A}{m}\right)}}$$

（ロ）　固縛装置の余長がなくなる時点での終端速度の算定

固縛対象設備が挙動を開始してから連結材（サイドロープ）が展張する時点での固縛対象設備が持つ速度である終端速度$v_{SA,OT}$を算出する。以下算出は横滑りを例に記載する。

固縛対象設備が横滑りを始めた風速から最大風速となる風速を，設計竜巻の風速分布曲線より，保守性を考慮して線形近似した以下の式を使用する。

$$V'_{SA} = a\ t + b \quad \cdots (3.1)$$

V'_{SA}：t 秒後に固縛対象設備が受ける竜巻の風速

a　：風速の近似式の定数

b　：風速の近似式の定数（＝滑り出し風速）

停止している固縛対象設備が動き出し，設計余長分を移動した時の加速度a_{SA}を，荷重と加速度の関係から算出する。

$$a_{SA}=\frac{F}{m}=\frac{W_W-F_{fd}}{m}$$

$$=\frac{1}{2}\rho\left(\frac{G\cdot C\cdot A}{m}+\mu_d\cdot\frac{C_D A}{m}\right)V'_{SA}{}^2-\mu_d\cdot g\cdots(3.2)$$

F_{fd}：固縛対象設備に作用する動摩擦力

ここで，Kを以下に示すように置いて，（3.2）式のV'_{SA}に（3.1）式を代入し，tに対する式として整理すると，（3.3）式となる。

$$K=\frac{1}{2}\rho\left(\frac{G\cdot C\cdot A}{m}+\mu_d\cdot\frac{C_D A}{m}\right)$$

$$a_{SA}=K\cdot a^2\cdot t^2+2K\cdot a\cdot b\cdot t+(K\cdot b^2-\mu_d\cdot g)\cdots(3.3)$$

固縛対象設備の速度v_{SA}は，加速度a_{SA}を時間tで積分し，初期条件を考慮することで（3.4）式となる。（初期条件t＝0のとき，$v_{SA}=0$）

$$v_{SA}=\int a_{SA}\,dt$$

$$=\frac{1}{3}K\cdot a^2\cdot t^3+K\cdot a\cdot b\cdot t^2$$

$$+(K\cdot b^2-\mu_d\cdot g)t\cdots(3.4)$$

固縛対象設備の移動距離x_{SA}は，速度v_{SA}を時間tで積分し，初期条件を考慮すると以下の式となる。（初期条件t＝0のとき，$x_{SA}=0$）

$$x_{SA}=\int v_{SA}\,dt$$

$$=\frac{1}{12}K\cdot a^2\cdot t^4+\frac{1}{3}K\cdot a\cdot b\cdot t^3$$

$$+\frac{1}{2}(K\cdot b^2-\mu_d\cdot g)\,t^2\cdots(3.5)$$

固縛対象設備の移動距離x_{SA}が設計余長Xとなる時として，（3.5）式をtについて解くと，滑り始めてから固縛装置が作動するまでの時間t_iが算出できる。

（3.4）式にt_iを代入することで，固縛装置が作動する時点での固縛対象設備の速度として，終端速度$v_{SA,OT}$が算出される。

（ハ） 固縛装置に作用する動的荷重の算定

固縛対象設備の停止時に，固縛装置に作用する動的荷重は，急制動による停止に伴う動的荷重によって連結材に作用する張力に加え，風圧力及び動摩擦力による荷重F_i’を静荷重として，動的荷重F_iによる連結材に作用する張力に加算する。固縛対象設備が有する運動量はmv_{SA}である。固縛装置が作用し始めてΔtの間に停止したとすると，連結材に発生する動的荷重F_iと運動量の関係は，（3.6）式のとおりとなる。

$$\int_0^{\Delta t} F_i(t)dt = m \cdot v_{SA} \quad \cdots (3.6)$$

連結材の等価剛性をｋとして，連結材に張力が作用し，固縛対象設備の速度が 0 になったとすると，振幅をＢとして，連結材の変位x_{RP}は，（3.7）式で表される。また，フックの法則により連結材に発生する動的荷重F_iは（3.8）式となる。

$$x_{RP} = B\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \cdots (3.7)$$

$$F_i(t) = k \cdot x_{RP} = k \cdot B\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \cdots (3.8)$$

次に，（3.8）式を（3.6）式に代入して積分し，初期条件を考慮して，振幅について解くと（3.9）式となる。（初期条件：ｔ＝0 のとき$v_{SA}=v_{SA,OT}$，ｔ＝Δtのとき$v_{SA}=0$）

$$B = v_{SA,OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \cdots (3.9)$$

また，動的荷重F_iは，（3.8）式の正弦関数が１のときに最大値（＝ｋ・Ｂ）となり，連結材の変位も最大となるその時間t_i’は，以下の式となる。

$$t_i' = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \cdots (3.10)$$

さらに，風荷重と動摩擦力の差分による静荷重F_i’が作用する。

固縛対象設備に作用する風速は，（3.1）式にt_iを代入して算出する。

なお，このとき，揚力が自重を上回る場合には，摩擦力は考慮しない。

$$V''_{SA} = a \cdot t_i + b$$

$$F_i' = W_W - F_m$$

$$= \frac{1}{2} m \cdot \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V''_{SA}{}^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$$

固縛装置作動により固縛対象設備の急停止に伴う荷重は，動的荷重F_iに加えて静荷重F_i’を加算した荷重とし，動的荷重P_iとする。

(2) 荷重の組合せ

添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す，常時作用荷重（F_d），風荷重による浮き上がり荷重(P_V)，横滑り荷重(P_H)及び動的荷重(P_i)を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 固縛装置の荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
固縛装置	構造強度	$F_d + P_V$ 又は $F_d + P_H$ 又は $F_d + P_i$ (固縛対象設備に作用する荷重)

(3) 固縛対象設備に考慮する荷重の組合せ

「2. 基本方針」に記載したとおり，「3.1.3(1) 荷重の設定」，「3.1.3(2) 荷重の組合せ」に基づき評価した結果，最も裕度の低い固縛装置を有する可搬型代替注水中型ポンプに対して考慮する荷重を表 3-5 に示す。

表 3-5 可搬型代替注水中型ポンプに考慮する荷重の組合せ

固縛対象設備	固縛装置の構成	荷重の組合せ
可搬型代替注水中型ポンプ	フレノ・リンクボルト ＋ アンカープレート ＋ 接着系アンカーボルト	F_d＋動的荷重P_i (側面方向の横滑り)

3.1.4　許容限界

固縛装置の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5.　許容限界」に示すとおり，「3.1.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，評価内容に応じて設定する。評価においては，許容限界以下であることを確認する。

(1)　連結材

固縛に必要となる連結材（メインロープ及びサイドロープ）については，設計竜巻による荷重に対し，連結材の破断が生じない設計とする。

このため，当社がその妥当性を確認したメーカ提示値の規格引張強度を許容限界とする。

(2)　固定材

a.　フレノ・リンクボルト

固定材のうち，フレノ・リンクボルトについては，設計竜巻による荷重に対し，フレノ・リンクボルトの破断が生じない設計とする。

このため，当社がその妥当性を確認したメーカ提示の使用荷重及び安全係数によって，使用荷重に対し安全係数を考慮した値を許容限界とする。

b.　アンカープレート

固定材のうち，アンカープレートについては，設計竜巻による荷重に対し，鋼材の破断が生じない設計とする。

このため，「鋼構造塑性設計指針」に基づく，部材の終局耐力を許容限界とする。

(3)　基礎部（アンカーボルト）

a.　接着系アンカーボルト

基礎部（アンカーボルト）のうち，接着系アンカーボルトについては，設計竜巻による荷重に対し，接着系アンカーボルトの破断が生じない設計とする。

このため，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく，短期許容荷重を許容限界とする。

3.1.5　評価方法

(1)　連結材の評価方法

連結材に作用する荷重が，固縛装置の設置箇所数×連結材1組当たりの許容限界を超えないことを確認するため，連結材1組当たりに作用する荷重を，以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し，そのうち最も大きい荷重を選定する。

a.　浮き上がり時

設計竜巻の風荷重による揚力が固縛対象設備に作用して浮き上がる状態を考える。固縛対象設備が浮き上がった場合には，両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから連結材に作用する荷重を以下の式により算定する。浮き上がり時の評価モデルの概要図を図 3-4 に示す。

連結材に作用する荷重のうち，メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を，浮き上がり時の連結材の検討用荷重P_1とする。

$$P_1=\max\left(\frac{P}{n_1}\cdot\frac{1}{\sin\theta_{V1}},\ \frac{P}{2}\right)=\frac{P}{n_1}\cdot\frac{1}{\sin\theta_{V1}}\quad(n_1\cdot\sin\theta_{V1}\leq 2\ \text{より})$$

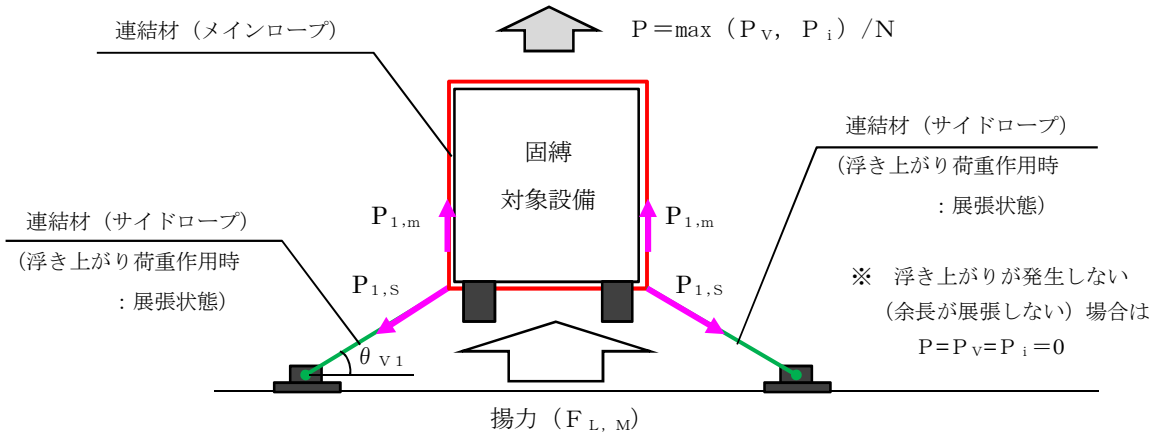


図 3-4　浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要図

b.　横滑り時

設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して横滑りする状態を考え，連結材に作用する荷重は算定するが，横滑りの方向により連結材に作用する荷重状態が異なるため，横滑り方向に対して，荷重を算定する。

(a)　側面方向の横滑り時

固縛対象設備が側面方向（進行方向直角方向）に横滑りした場合には，固縛装置は片側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））のみで抵抗することとなるから，連結材の検討用荷重P_1は以下の式により算定する。横滑り時（側面方向）の評価モデルの概要図を図 3-5 に示す。

連結材に作用する荷重のうち，メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を，側面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重P_1とする。

$$P_1=\max\left(P\cdot\frac{1}{\cos\theta_{V2}},\ \frac{P}{2}\right)=P\cdot\frac{1}{\cos\theta_{V2}}\quad(\cos\theta_{V2}\leq 1<2\ \text{より})$$

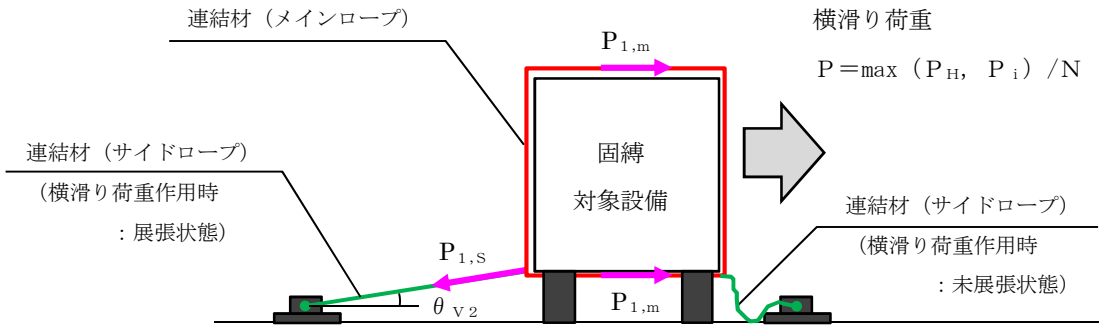


図 3-5　横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(b)　正面方向の横滑り時

固縛対象設備が正面方向（進行方向）に横滑りした場合には，両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから，連結材の検討用荷重P_1は以下の式により算定する。横滑り時（正面方向）の評価モデルの概要図を図 3-6 に示す。

連結材に作用する荷重のうち，メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を，正面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重P_1とする。

$$P_1=\max\left(\frac{P}{n_1}\cdot\frac{1}{\sin\theta_H}\cdot\frac{1}{\cos\theta_{V2}},\ \frac{P}{n_1}\cdot\frac{1}{\tan\theta_H}\right)$$

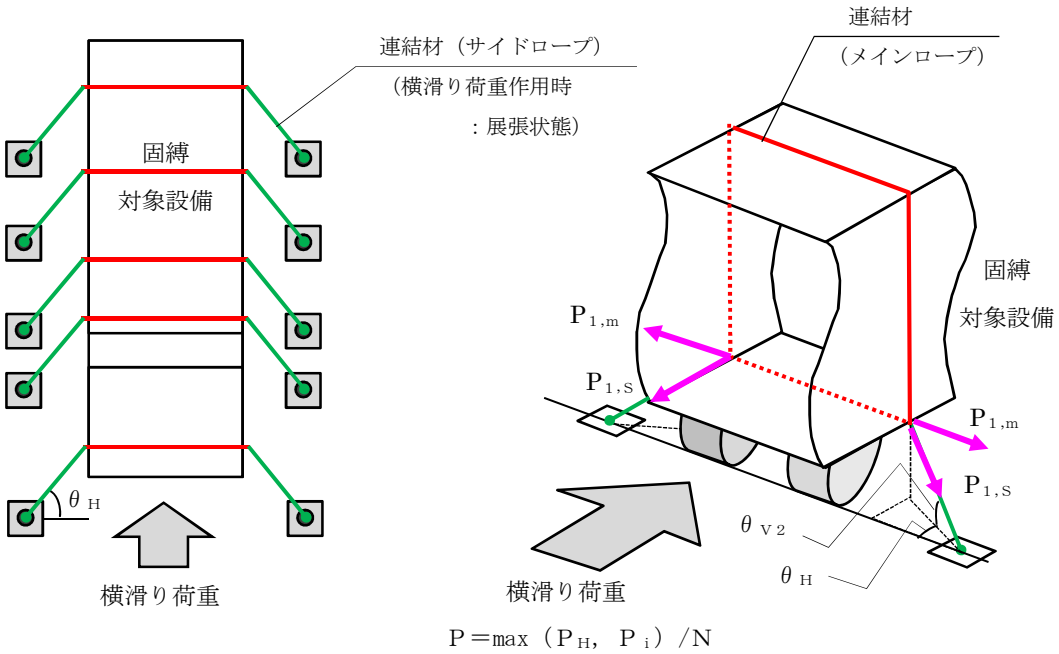


図 3-6　横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(2) 固定材の評価方法

a. フレノ・リンクボルトの評価方法

フレノ・リンクボルトに作用する荷重も連結材と同様に，固縛装置の設置箇所数×フレノ・リンクボルト１本当たりの許容限界を超えないことを確認するため，フレノ・リンクボルト１本当たりに作用する荷重を，以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し，そのうち最も大きい荷重を選定する。

なお，フレノ・リンクボルトは連結材のうちサイドロープと同一の作用線上に配置されることから，連結材のサイドロープの荷重を検討用荷重P_2とする。

また，荷重の評価モデルは連結材と同様である。

(a) 浮き上がり時

浮き上がり時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重P_2は以下の式で算定する。

$$P_2 = \frac{P}{n_2} \cdot \frac{1}{\sin\theta_{V1}}$$

(b) 横滑り時

イ. 側面方向の横滑り時

側面方向の横滑り時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重P_2は以下の式で算定する。

$$P_2 = P \cdot \frac{1}{\cos\theta_{V2}}$$

ロ. 正面方向の横滑り時

正面方向の横滑り時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重P_2は以下の式で算定する。

$$P_2 = \frac{P}{n_2} \cdot \frac{1}{\cos\theta_{H}} \cdot \frac{1}{\cos\theta_{V2}}$$

b. アンカープレートの評価方法

(a) 計算モデル

アンカープレートは，フレノ・リンクボルトを介して荷重を受けるため，フレノ・リンクボルトの角度により，図 3-7 に示すｘ，ｙ，ｚ方向にフレノ・リンクボルトに作用する荷重P_2の分力として，検討用荷重P_3が作用する。

アンカープレートの評価は，浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して，作用する方向の検討用荷重に対して部材断面に生ずる荷重等を算定し，評価を行う。

なお，フレノ・リンクボルトはボルト芯を軸として回転し，アンカープレートの仕様も含めて，ｘ方向とｙ方向は同一の評価条件となり，ｘ，ｙ方向は同じ検討モデルとなるため，以降ではｘ方向に作用する場合を示す。

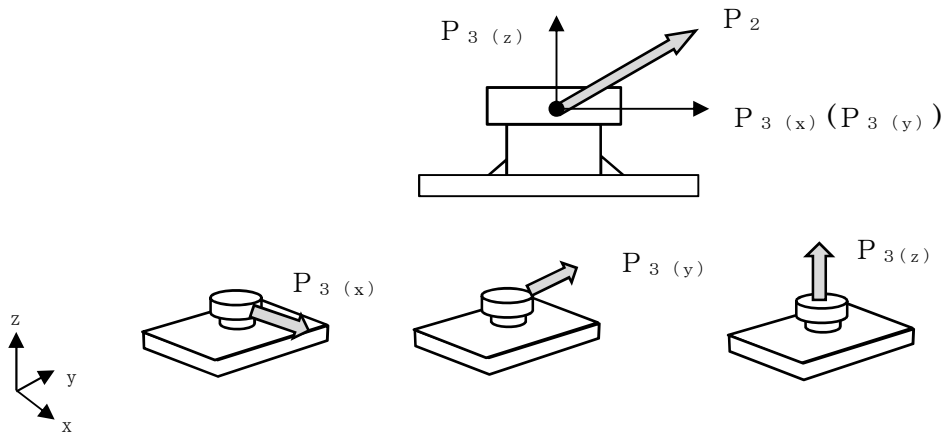
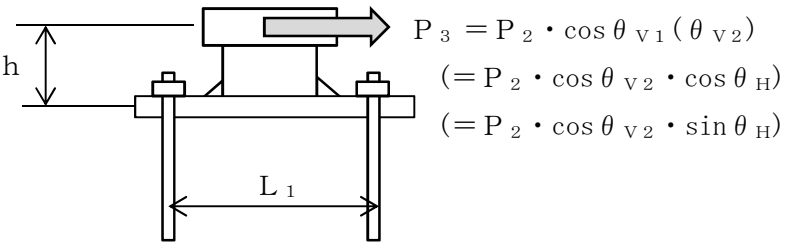


図 3-7　アンカープレートの計算モデルの概要図

(b)　計算方法

イ．　x（y）方向荷重時の検討

アンカープレートのうち，ベースプレートに対し，x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を図 3-8 に示す。前述のとおり，x 方向と y 方向の計算モデルは同一条件であるため，x 方向のモデルにて示す。



$_{B}M_{y}=P_{3}\cdot h/2$

$_{B}Q_{x}=_{B}M_{y}/(L_{1}/2)$

図 3-8　x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重P_{3}によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント$_{B}M_{y}$は，以下の式により算定する。

$$_{B}M_{y}=P_{3}\cdot\frac{h}{2}$$

ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数$_{B}Z_{py}$は，以下の式により算定する。

$$ {}_{B}Z_{py} = \frac{{}_{B}B \cdot {}_{B}t^{2}}{4} $$

許容限界であるベースプレートのｙ軸まわりの終局曲げモーメント${}_{B}M_{py}$は，「鋼構造塑性設計指針」に基づき，以下の式により算定する。

$$ {}_{B}M_{py} = \sigma_{y} \cdot {}_{B}Z_{py} \cdot 10^{-3} $$

・せん断に対する検討

検討用荷重P_3によるベースプレートのせん断力${}_{B}Q_{x}$は，以下の式により算定する。

$$ {}_{B}Q_{x} = \frac{{}_{B}M_{y}}{\frac{L_1}{2}} $$

ベースプレートの断面積${}_{B}A$は，以下の式により算定する。

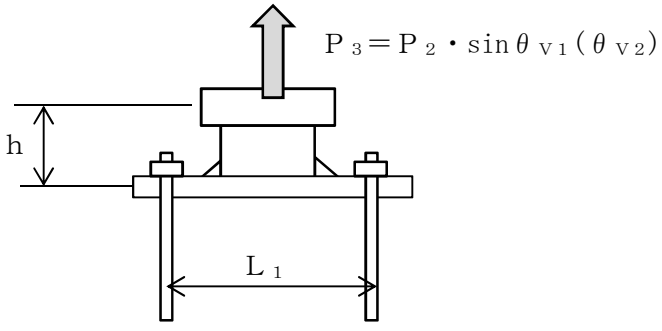
$$ {}_{B}A = {}_{B}B \cdot {}_{B}t $$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力${}_{B}Q_{px}$は，「鋼構造塑性設計指針」に基づき，以下の式により算定する。

$$ {}_{B}Q_{px} = \tau_{y} \cdot {}_{B}A \cdot 10^{-3} $$

ロ．　ｚ方向荷重時の検討

アンカープレートのうち，ベースプレートに対し，ｚ方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を図 3-9 に示す。



$${}_{B}M_{y_z} = P_3 \cdot L_1 / 4$$

$${}_{B}Q_{x_z} = P_3 / 2$$

図 3-9　ｚ方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重P_3によるベースプレートのｙ軸まわり曲げモーメント${}_BM_{y_z}$は，以下の式により算定する。

$$ {}_BM_{y_z} = P_3 \cdot \frac{L_1}{4} $$

ベースプレートのｙ軸まわりの塑性断面係数${}_BZ_{py}$は，以下の式により算定する。

$$ {}_BZ_{py} = \frac{{}_BB \cdot {}_Bt^2}{4} $$

許容限界であるベースプレートのｙ軸まわりの終局曲げモーメント${}_BM_{py}$は，「鋼構造塑性設計指針」に基づき，以下の式により算定する。

$$ {}_BM_{py} = \sigma_y \cdot {}_BZ_{py} \cdot 10^{-3} $$

・せん断に対する検討

検討用荷重P_3によるベースプレートのせん断力${}_BQ_{x_z}$は，以下の式により算定する。

$$ {}_BQ_{x_z} = \frac{P_3}{2} $$

ベースプレートの断面積${}_BA$は，以下の式により算定する。

$$ {}_BA = {}_BB \cdot {}_Bt $$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力${}_BQ_{pz}$は，「鋼構造塑性設計指針」に基づき，以下の式により算定する。

$$ {}_BQ_{pz} = \tau_y \cdot {}_BA \cdot 10^{-3} $$

(3) 基礎部（アンカーボルト）の評価方法

a. 接着系アンカーボルトの評価方法

(a) 計算モデル

接着系アンカーボルトもアンカープレートの評価と同様に，浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して，作用する方向の検討用荷重に対してアンカーボルトに生ずる荷重等を算定し，評価を行う。

(b) 引張に関する検討

接着系アンカーボルトの降伏引張耐力に関する検討は以下による。

アンカーボルトの有効断面積${}_AA_e$は，以下の式により算定する。

$$ {}_{A}A_{e} = {}_{A}\alpha \cdot \frac{\pi \cdot d_{a}{}^{2}}{4} $$

z 方向の検討用荷重P_3によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力${}_{A}T_{V}$は，以下の式により算定する。

$$ {}_{A}T_{V} = \frac{P_3}{n} $$

x 又はｙ方向の検討用荷重P_3によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力${}_{A}T_{H}$は，以下の式により算定する。

$$ {}_{A}T_{H} = \frac{P_3 \cdot h}{\frac{7}{8} d_t \cdot n'} $$

アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力P_{a1}は，以下の式により算定する。

$$ P_{a1} = \phi_1 \cdot f_t \cdot {}_{A}A_{e} \cdot 10^{-3} $$

アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力P_{a3}は，以下の式により算定する。

$$ P_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot {}_{A}d_{a} \cdot {}_{A}L_{ce} \cdot 10^{-3} $$

接着系アンカーボルトにおける付着強度τ_aは以下の式により算定する。

$$ \tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg} $$

接着系アンカーボルトにおいて，へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数は以下の式により算定する。

$$ \alpha_n : 0.5 \cdot (C_n / {}_{A}L_{ce}) + 0.5 $$

$$ {}_{A}L_{e} = {}_{A}L - d_a $$

$$ {}_{A}L_{ce} = {}_{A}L_{e} - 2 \cdot d_a $$

ここで，

$(C_n/{}_{A}L_{ce}) \geqq 1.0$ の場合は，$(C_n/{}_{A}L_{ce}) = 1.0$

${}_{A}L_{e} \geqq 10 d_a$の場合は，${}_{A}L_{e} = 10 d_a$とする。

アンカーボルトの１本当たりの短期許容引張力P_aは，以下の式により算定する。

$$ P_a = \min\left(P_{a1},\ P_{a3}\right) $$

(c) せん断に関する検討

検討用荷重P_3によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力$_AQ$は，以下の式により算定する。

$$_AQ=\frac{P_3}{n}$$

アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト1本当たりの許容せん断力Q_{a1}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a1}=\phi_1\cdot {}_s\sigma_{qa}\cdot {}_AA_e\cdot 10^{-3}$$

定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト1本当たりの許容せん断力Q_{a2}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a2}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_{qa}\cdot {}_AA_e\cdot 10^{-3}$$

せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積A_{qc}は，アンカーボルトのへりあき寸法をｃとすると以下の式により算定する。

$$A_{qc}=0.5\cdot\pi\cdot c^2$$

定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト1本当たりの許容せん断力Q_{a3}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a3}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_t\cdot A_{qc}\cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの短期許容せん断力Q_aは，以下の式により算定する。

$$Q_a=\min\left(Q_{a1},\ Q_{a2},\ Q_{a3}\right)$$

(d) 引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張力とせん断力の組合せ力に対する検定は，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき，以下の式によって行う。

$$\left[\frac{{}_AT_H+{}_AT_V}{P_a}\right]^2+\left[\frac{{}_AQ}{Q_a}\right]^2\leq 1$$

3.2 収納ラック

3.2.1 記号の定義

(1) 強度評価の記号の定義

基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表 3-6 に示す。

表 3-6　基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
W_W	kN	収納ラックに作用する風荷重
$F_{L,m}$	kN	収納ラックに作用する保守的に設定した揚力
A	m^2	収納ラックの最大見付面積
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	－	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
ρ	kg/m^3	空気密度
C_{Di}（i=1, 2, 3）	－	収納ラックの形状に応じた抗力係数
A_i（i=1, 2, 3）	m^2	収納ラックの各面の見付面積
H	m	収納ラックの高さ（風荷重の作用位置）
m	kg	収納ラックの質量
g	m/s^2	重力加速度（g＝9.80665）
F	N/mm^2	鋼材の基準強度
f_t	N/mm^2	検討対象部材の短期許容引張応力度
N	本	収納ラックの基礎部のアンカーボルトの全数
L_1	m	側面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離
L_2	m	正面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離
n_1	本	側面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数
n_2	本	側面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数
P_1	kN	揚力によりアンカーボルト1本当たりに生じる引張力
P_2	kN	風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト1本当たりに生じる引張力
Q	kN	風荷重によりアンカーボルト1本当たりに生じるせん断力
$_A\alpha$	－	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数（=0.75）
$_AA_e$	mm^2	アンカーボルトの有効断面積

表 3-6　基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
ϕ_1	－	アンカーボルトの許容引張力を決定する際の低減係数で，アンカーボルトの降伏による場合は 1.0 アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で，アンカーボルトのせん断強度による場合は 1.0
F_c	N/mm^2	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度（＝40）
$_s\sigma_{qa}$	N/mm^2	接着系アンカーボルトの短期許容せん断応力度（＝0.7×f_t）
$_AQ$	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力
γ	kN/m^3	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量
Q_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
Q_{a2}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
ϕ_2	－	アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で，コンクリートの支圧及び躯体のコーン状破壊による場合は 2/3
$_c\sigma_{qa}$	N/mm^2	基礎コンクリートの支圧強度で，$0.5\times\sqrt{(F_c\cdot E_c)}$
E_c	N/mm^2	コンクリートのヤング係数で，$3.35\times10^4\times(\gamma/24)^2\times(F_c/60)^{1/3}$
A_{qc}	mm^2	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
$_AL$	mm	接着系アンカーボルトにおいては，埋込長さ
$_AL_e$	mm	接着系アンカーボルトの有効埋込長さ
$_AL_{ce}$	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
$_Ad_a$	mm	接着系アンカーボルトの呼び径
α_1 α_2 α_3	－	接着系アンカーボルトにおいて，へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数
C_1，C_2，C_3	mm	接着系アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチの 1/2
P_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
P_{a3}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
ϕ_3	－	接着系アンカーボルトの許容引張力を決定する際の付着力による低減係数(=2/3)
τ_a	N/mm^2	接着系アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチを考慮した引張力に対する付着強度
τ_{bavg}	N/mm^2	接着系アンカーの基本平均付着強度で，カプセル式・有機系の場合（$=10\sqrt{(F_c/21)}$）

表 3-6　基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
P_a	kN	接着系アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
Q_a	kN	接着系アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力
Q_{a3}	kN	接着系アンカーボルトの検討において，定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
${}_c\sigma_t$	N/mm^2	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度（$=0.31\times\sqrt{F_c}$）

3.2.2　評価対象部位

収納ラックの評価対象部位は，「2.2(2)　収納ラックの構造概要」にて設定している構造に基づき，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1)　基礎部（アンカーボルト）

接着系アンカーボルトにより構成されるため，評価対象部位として設定する。

・接着系アンカーボルト

基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位を図 3-10 に示す。

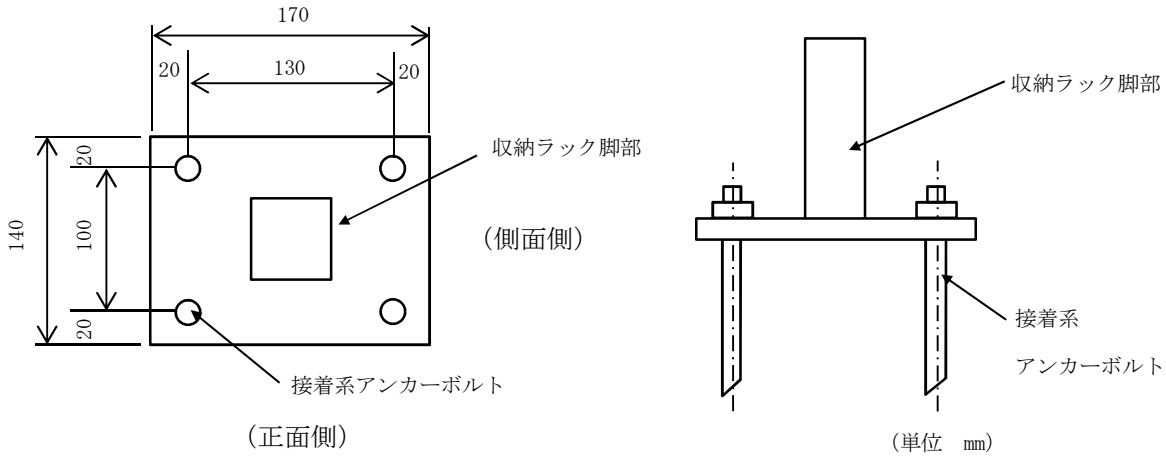


図 3-10　基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

3.2.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

a.　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重であるが，保守的に評価することとして，考慮しない。

b.　風圧力による荷重（W_W）

風圧力による荷重は，収納ラックを介して基礎（アンカーボルト）に作用する。

竜巻による最大風速は，一般的には水平方向の風速として設定され，これにより収納ラックは風圧力を受けるが，鉛直方向に対しても，風圧力により収納ラックに揚力が発生するため，鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(a)　竜巻の風圧力による荷重

添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」に基づき，荷重を選定する。

イ．　風荷重

設計竜巻の風圧力による荷重が収納ラックに作用する風荷重であり，「建築基準法施行令」及び「日本建築学会　建築物荷重指針・同解説」に準拠して，次に示すとおりW_Wとする。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ．　揚力

収納ラックに作用する揚力は，揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力$F_{L,m}$を用い，空力パラメータC_DA/mを用いた式に展開し，浮き上がり荷重P_Vは次に示す式により算出する。

$$P_V = F_{L,m} - m \cdot g = \frac{1}{2}\rho \cdot V_{SA}{}^2 \cdot C_DA - m \cdot g$$

$$= m\left(\frac{1}{2}\rho \cdot V_{SA}{}^2 \cdot \frac{C_DA}{m} - g\right)$$

なお，空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき，以下のC_DA/mとして算出する。

$$\frac{C_DA}{m} = \frac{0.33\left(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3\right)}{m}$$

(2)　荷重の組合せ

添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3　荷重及び荷重の組合せ」に示す，風荷重（W_W）及び風荷重による揚力（$F_{L,m}$）を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 3-7「収納ラックの荷重の組合せ」に示す。

表 3-7　収納ラックの荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
収納ラック	構造強度	$W_W + F_{L,m}$

(3)　収納ラックに考慮する荷重の組合せ

「2.　基本方針」に記載したとおり，「3.2.3(1)　荷重の設定」，「3.2.3(2)　荷重の組合せ」に基づき評価した結果，最も裕度の低い可搬型整流器の収納ラックに対して考慮する荷重を表 3-8 に示す。

表 3-8　可搬型整流器の収納ラックに考慮する荷重の組合せ

固縛対象設備	固縛装置の構成	荷重の組合せ
可搬型整流器 収納ラック	接着系アンカーボルト	W_W（正面方向）$+ F_{L,m}$

3.2.4　許容限界

収納ラックの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 1-3　屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5.　許容限界」に示すとおり，「3.2.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位に対し，評価内容に応じて設定する。評価においては，許容限界以下であることを確認する。

(1)　基礎部（アンカーボルト）

a.　接着系アンカーボルト

基礎部（アンカーボルト）のうち，接着系アンカーボルトについては，設計竜巻による荷重に対し，接着系アンカーボルトの破断が生じない設計とする。

このため，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく，短期許容荷重を許容限界とする。

3.2.5　評価方法

(1)　収納ラックの評価モデル

収納ラックに設計竜巻による風荷重が作用し，浮き上がり及び転倒の荷重状態を考慮して，図 3-11 に示す計算モデルにて，作用する方向の荷重に対して，アンカーボルトに発生する荷重を算定し，評価を行う。

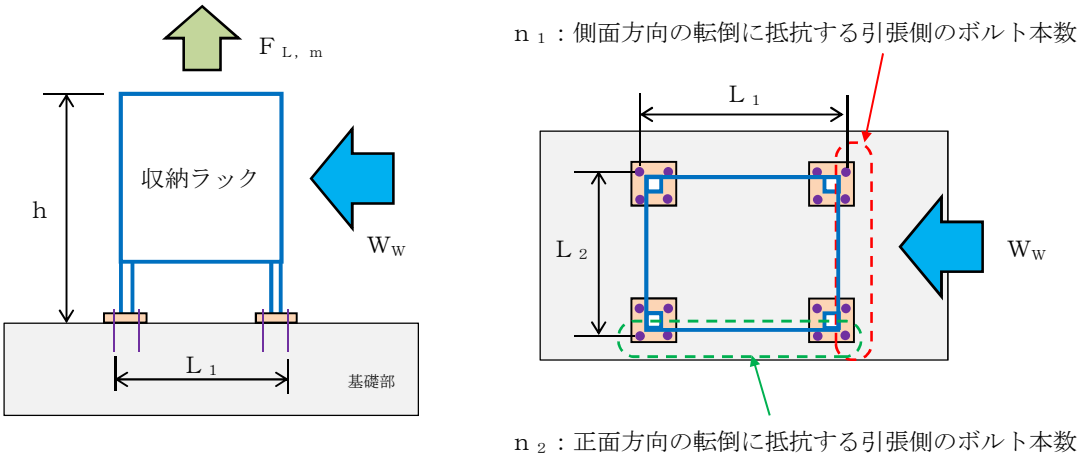


図 3-11　収納ラックの計算モデル図

(2)　収納ラックの評価方法

a.　アンカーボルトに作用する荷重

揚力によりアンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力P_1は，以下の式により算出する。

$$P_1 = \frac{F_{L，m}}{N}$$

風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力P_2は以下の式により算出する。この時，風荷重の作用位置は保守的に収納ラックの頂部位置に設定する。

$$P_2 = \frac{W_W \cdot H}{L_1 \cdot n_1}$$　（側面方向からの風荷重）

$$P_2 = \frac{W_W \cdot H}{L_2 \cdot n_2}$$　（正面方向からの風荷重）

風荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力Q_1は，以下の式により算出する。

$$Q_1 = \frac{W_W}{N}$$

b.　引張に関する検討

アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力Ｐは，以下による。

$$P = P_1 + P_2$$

アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力

P_{a1}は，以下の式により算定する。

$$P_{a1}=\phi_1 \cdot f_t \cdot {}_AA_e \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力P_{a3}は，以下の式により算定する。

$$P_{a3}=\phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot {}_Ad_a \cdot {}_AL_{ce} \cdot 10^{-3}$$

接着系アンカーボルトにおける付着強度τ_aは以下の式により算定する。

$$\tau_a=\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$$

接着系アンカーボルトにおいて，へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数は以下の式により算定する。

$$\alpha_n : 0.5 \cdot (C_n / {}_AL_{ce}) + 0.5$$

$${}_AL_e = {}_AL - d_a$$

$${}_AL_{ce} = {}_AL_e - 2 \cdot d_a$$

ここで，

$(C_n/{}_AL_{ce}) \geqq 1.0$ の場合は，$(C_n/{}_AL_{ce})=1.0$

${}_AL_e \geqq 10d_a$の場合は，${}_AL_e=10d_a$とする。

アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力P_aは，以下の式により算定する。

$$P_a=\min\left(P_{a1},\ P_{a3}\right)$$

c. せん断に関する検討

アンカーボルトに生じるせん断力Qは，以下による。

$$Q = Q_1$$

アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力Q_{a1}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a1}=\phi_1 \cdot {}_s\sigma_{qa} \cdot {}_AA_e \cdot 10^{-3}$$

定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力Q_{a2}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a2}=\phi_2 \cdot {}_c\sigma_{qa} \cdot {}_AA_e \cdot 10^{-3}$$

せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積A_{qc}は，アンカーボルトのへりあき寸法をｃとすると以下の式により算定する。

$$A_{qc}=0.5\cdot\pi\cdot c^{2}$$

定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト１本当たりの許容せん断力Q_{a3}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a3}=\phi_{2}\cdot {}_{c}\sigma_{t}\cdot A_{qc}\cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト１本当たりの短期許容せん断力Q_{a}は，以下の式により算定する。

$$Q_{a}=\min\left(Q_{a1},\ Q_{a2},\ Q_{a3}\right)$$

d.　引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張力とせん断力の組合せ力に対する検定は，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき，以下の式によって行う。

$$\left[\frac{P}{P_{a}}\right]^{2}+\left[\frac{Q}{Q_{a}}\right]^{2}\leq 1$$

4. 評価条件

評価に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価条件

可搬型代替注水中型ポンプの評価条件を，表 4-1～表 4-8 に示す。

表 4-1 評価条件

固縛対象設備	V_D (m/s)	V_{Rm} (m/s)	R_m (m)	H_i (m)	ρ (kg/m^3)	g (m/s^2)
可搬型代替注水中型ポンプ	100	85	30	15	1.22	9.80665

表 4-2 評価条件（固縛対象設備）

固縛対象設備	B (m)	L (m)	H (m)	m (kg)	μ_s (-)	μ_d (-)
可搬型代替注水中型ポンプ	2.490	8.260	3.430	14800	0.44	0.29

C_{D1} (-)	C_{D2} (-)	C_{D3} (-)	A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	A_3 (m^2)	G (-)	C (-)
2.0	2.0	2.0	8.541	20.567	28.332	1.0	1.2

V_{SA} (m/s)	$V_{SAS,F}$ (m/s)	$V_{SAS,S}$ (m/s)	
		側面	正面
88.1	79.0	45.4	62.2

表 4-3　評価条件（固縛装置）

固縛対象設備	N （箇所）	X （mm）	L_{OF} （m）	θ_{V1} （°）	θ_{V2} （°）	θ_{H} （°）
可搬型代替注水中型ポンプ	5	600	900	60.6	35.0	53.2

表 4-4　評価条件（連結材）

評価対象	仕様	A_{RP} （mm^2）	E_{RP} （N/mm^2）	L_{RP} （m）	n_1 （個）
連結材	高強度繊維ロープ	380.13	15785	6.551	2

表 4-5　評価条件（固定材のうちフレノ・リンクボルト）

評価対象	仕様	型式	n_2 （個）
固定材	フレノ・リンクボルト	A-48L	2

表 4-6　評価条件（固定材のうちアンカープレート）

評価対象	評価部位	材質	F （N/mm^2）	$_{B}B$ （mm）	$_{B}t$ （mm）
固定材	アンカープレート	SN490B	325	550	36

h （mm）	L_1 （mm）	d_t （mm）	n_2 （個）
132	400	475	2

表 4-7　評価条件（基礎部（アンカーボルト））

評価対象	評価部位	材質	F (N/mm^2)	f_b (N/mm^2)	f_t (N/mm^2)
基礎部 （アンカーボルト）	接着系 アンカーボルト	SNR490B	325	325	325

d_a (mm)	n_2 (個)	$_An$ (本)	$_An'$ (本)	$_AL$ (mm)	$_Aa$ (mm)	c (mm)
24	2	8	3	300	200	400

α_1 (-)	α_2 (-)	α_3 (-)	F_C (N/mm^2)	γ (kN/m^3)
1.0	0.76	0.76	40	24.5

表 4-8　評価条件（固縛対象設備に作用する荷重）

固縛対象設備	P_V (kN)	P_H (kN)		P_i (kN)	
		側面	正面	側面	正面
可搬型代替注水 中型ポンプ	35.0	161.0	48.5	724.7	873.6

4.2　可搬型整流器の収納ラックの評価条件

可搬型整流器の収納ラックの評価条件を，　表 4-9～表 4-12 に示す。

表 4-9　評価条件

重大事故等対処設備	V_D (m/s)	V_{Rm} (m/s)	R_m (m)	H_i (m)	ρ (kg/m^3)	g (m/s^2)
収納ラック（可搬型整流器）	100	85	30	15	1.22	9.80665

表 4-10　評価条件（収納ラック）

重大事故等対処設備	B (m)	L (m)	H (m)	m (kg)	G (-)	C (-)
収納ラック（可搬型整流器）	1.267	0.777	1.420	409	1.0	1.2

C_{D1} (-)	C_{D2} (-)	C_{D3} (-)	A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	A_3 (m^2)	V_{SA} (m/s)
2.0	2.0	2.0	1.799	1.103	0.984	78.7

表 4-11　評価条件（収納ラックに作用する荷重）

重大事故等対処設備	W_W (kN)		$F_{L,m}$ (kN)
	側面	正面	
収納ラック（可搬型整流器）	5.0	8.2	9.7

表 4-12　評価条件（基礎部（アンカーボルト））

評価対象	評価部位	材質	F (N/mm^2)	f_t (N/mm^2)	d_a (mm)
基礎部 （アンカーボルト）	接着系 アンカーボルト	SS400	235	235	12

N （本）	n_1 （本）	n_2 （本）	L_1 (mm)	L_2 (mm)	$_AL$ (mm)	$_Aa$ (mm)	c (mm)
16	4	4	780	1200	100	100	300

α_1 (-)	α_2 (-)	α_3 (-)	F_C (N/mm^2)	γ (kN/m^3)
0.89	1.0	1.0	40	24.5

5. 評価結果

5.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価結果

(1) 連結材の評価結果

連結材の評価結果を表 5-1 に示す。連結材に作用する荷重は許容限界以下であり，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-1 連結材の評価結果

評価対象	作用荷重 ケース	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
連結材	動的荷重 (側面方向 横滑り)	177.0	250	1.41

(2) 固定材の評価結果

a. フレノ・リンクボルト

固定材のうちフレノ・リンクボルトの評価結果を表 5-2 に示す。フレノ・リンクボルトに作用する荷重は許容限界以下であり，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-2 固定材（フレノ・リンクボルト）の評価結果

評価対象	作用荷重 ケース	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
フレノ・リンク ボルト	動的荷重 (側面方向 横滑り)	177.0	735.45	4.15

b. アンカープレート

固定材のうちアンカープレートの評価結果を表 5-3 に示す。アンカープレートに作用する荷重は許容限界以下であり，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-3　固定材（アンカープレート）の評価結果

評価対象	作用荷重 ケース	曲げモーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)
アンカー プレート	動的荷重 （側面方向　横滑り）	19714.1	63617.4

せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	裕度*
98.6	4078.8	3.22

注記　＊：最小裕度のみ記載

(3)　基礎部（アンカーボルト）の評価結果

基礎部（アンカーボルト）の評価結果を表 5-4 に示す。アンカーボルトに作用する荷重は許容限界以下であり，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-4　基礎部（アンカーボルト）の評価結果

評価対象	作用荷重 ケース	引張力 (kN)	許容限界 (kN)
接着系 アンカーボルト	動的荷重 （側面方向　横滑り）	28.1	90.5

せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張力 ＋ せん断力	許容限界	裕度*
18.2	77.0	0.152	1.0	3.22

注記　＊：最小裕度のみ記載

5.2　可搬型整流器の収納ラックの評価結果

(1)　基礎部（アンカーボルト）の評価結果

基礎部（アンカーボルト）の評価結果を表 5-5 に示す。アンカーボルトに作用する荷重は許容限界以下であり，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-5　基礎部（アンカーボルト）の評価結果

評価対象	作用荷重 ケース	引張力 (kN)	許容限界 (kN)
接着系 アンカーボルト	正面方向の風荷重	4.33	19.7

せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張力 ＋ せん断力	許容限界	裕度*
0.51	13.9	0.0497	1.0	4.54

注記　＊：最小裕度のみ記載

Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目次

1. 概要 1
2. 強度評価の基本方針 1
2.1 強度評価の対象施設 1
3. 構造強度設計 3
3.1 構造強度の設計方針 3
3.2 機能維持の方針 5
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界 26
4.1 荷重及び荷重の組合せ 26
4.2 許容限界 30
5. 強度評価方法 42
5.1 設備 43
5.1.1 残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ 43
5.1.2 残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ 49
5.1.3 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口 54
5.1.4 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン 77
5.2 建屋 82
6. 適用規格 83

1. 概要

本資料は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し，技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「Ⅴ-1-1-2-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「Ⅴ-1-1-2-4-3」という。）に設定している降下火砕物の影響を考慮する施設が，降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「Ⅴ-1-1-2-4-1　火山への配慮に関する基本方針」（以下「Ⅴ-1-1-2-4-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち，設備及び建屋に対する具体的な計算の方法及び結果は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-1　残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書」，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-2　残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書」，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-3　ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書」，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-4　ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書」，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-5　ディーゼル発電機吸気口の強度計算書」，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-6　ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度計算書」及び添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-7　建屋の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は，「2.1　強度評価の対象施設」に示す評価対象施設について，「4.1　荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わすべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力が，「4.2　許容限界」で示す許容限界内にあることを，「5.　強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し，「6.　適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1　強度評価の対象施設

Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4.　要求機能及び性能目標」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち，強度評価の対象施設（以下「評価対象施設」という。）となる設備及び建屋を表 2-1 に示す。なお，構造物への荷重を考慮する施設のうち，防護対策施設を設置する中央制御室換気系冷凍機並びに降下火砕物が堆積しにくい形状である非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器及び排気管は，評価対象施設として選定しない。また，評価対象施設のうち防護対策施設の強度評価の方針は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-2　防護対策施設の強度計算の方針」に示す。

表 2-1　評価対象施設

施設分類	評価対象施設
設備	・残留熱除去系海水系ポンプ ・残留熱除去系海水系ストレーナ ・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ」という。） ・非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ」という。） ・非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口」という。） ・非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン」という。）
建屋	・原子炉建屋原子炉棟 ・原子炉建屋付属棟 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋

3. 構造強度設計

Ⅴ-1-1-2-4-1で設定している降下火砕物特性に対し，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が，構造強度設計上の性能目標を達成するように，Ⅴ-1-1-2-4-3の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて，構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し，想定する荷重及び荷重の組合せを設定し，それらの荷重に対し，各施設の構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を示す。

(1) 設備

a. 残留熱除去系海水系ポンプ

残留熱除去系海水系ポンプは，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し，残留熱除去系海水系ポンプの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

b. 残留熱除去系海水系ストレーナ

残龍熱除去系海水系ストレーナは，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物,積雪及び風（台風）による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し，残留熱除去系海水系ストレーナの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

c. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）用海水ポンプは，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

d. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

e. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，脚を溶接で原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に固定し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

f. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物，風（台風）及び積雪による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

(2) 建屋

a. 原子炉建屋原子炉棟

原子炉建屋原子炉棟は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし，鉄筋コンクリート造の屋根を，鉄筋コンクリート造の耐震壁等で支持し，支持性能を有する基礎により支持する構造とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

b. 原子炉建屋付属棟

原子炉建屋付属棟は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物，風（台風）及び積雪による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし，鉄筋コンクリート造の屋根を，鉄筋コンクリート造の耐震壁，鉄骨造のはり架構等で支持し，支持性能を有する基礎により支持する構造とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

c. タービン建屋

タービン建屋は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物，風（台風）及び積雪による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし，鉄筋コンクリート造の屋根を，鉄筋コンクリート造の耐震壁等で支持し，支持性能を有する基礎により支持する構造とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

d. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物，風（台風）及び積雪による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし，鉄筋コンクリート造の屋根を，鉄筋コンクリート造の耐震壁等で支持し，支持性能を有する基礎により支持する構造とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

3.2 機能維持の方針

Ⅴ-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために，「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえⅤ-1-1-2-4-1の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して，各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 設備

a. 残留熱除去系海水系ポンプ

(a) 構造設計

残留熱除去系海水系ポンプは，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

残留熱除去系海水系ポンプは，鋼製の立形ポンプの上に，原動機を取り付け，原動機によりポンプの軸を回転させる構造とする。

残留熱除去系海水系ポンプはポンプベースに固定する。原動機は原動機台と結合し原動機台はポンプベースに固定する。ポンプベースは据付面基礎ボルトで基礎に据え付ける。端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は，原動機にボルトで結合する。

原動機の形状は円筒形を基本とした適切な強度を有する鋼製のフレームに一次側端子箱が付加された形態とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物が堆積する原動機上部に作用し，原動機フレーム及び原動機台を介して床面に伝達する構造とする。また，風荷重に対しては，原動機フレーム及び原動機台に作用し，据付面基礎ボルトを介して床面に伝達する構造とする。さらに，ポンプのスラスト荷重は全て原動機フレーム及び原動機台に作用する。

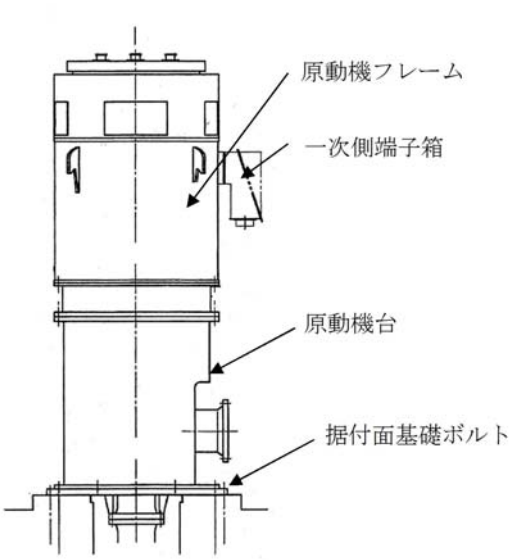
残留熱除去系海水系ポンプの構造計画を表3-1に示す。

(b)　評価方針

残留熱除去系海水系ポンプは，「(a)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し，荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて，残留熱除去系海水系ポンプを構成する原動機フレーム，原動機台及び据付面基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを「5. 強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-1　残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書」に示す。

表 3-1　残留熱除去系海水系ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 残留熱除去系海水系ポンプは，海水ポンプ室に設置する設計としている。			
残留熱除去系海水系ポンプ	原動機及び原動機に結合されたポンプで構成する。	コンクリート基礎に据付面基礎ボルトで固定する。	

b.　残留熱除去系海水系ストレーナ

(a)　構造設計

残留熱除去系海水系ストレーナは，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

残留熱除去系海水系ストレーナは，胴板と支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を並べて組み合わせ，支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。また，ストレーナ上部開口部には蓋が設置されている。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物が堆積する蓋等のストレーナ上部に作用し，胴板及び支持脚を介して床面に伝達する構造とする。また，風荷重に対しては，胴板に作用し，支持脚及び基礎ボルトを介して床面に伝達する構造とする。

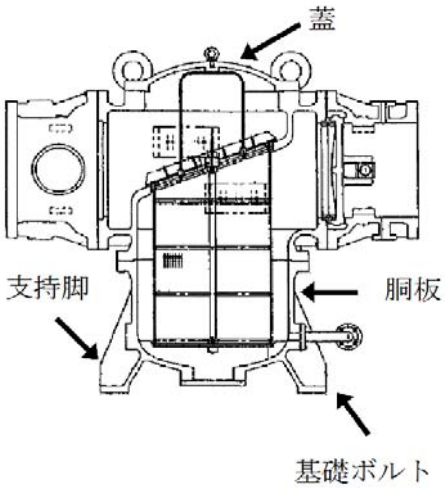
残留熱除去系海水系ストレーナの構造計画を表3-2に示す。

(b)　評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナは，「(a)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し，荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて，残留熱除去系海水系ストレーナを構成する蓋，支持脚及び基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを「5.　強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-2　残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書」に示す。

表 3-2　残留熱除去系海水系ストレーナの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 残留熱除去系海水系ストレーナは，海水ポンプ室に設置する設計としている。			
残留熱除去系海水系ストレーナ	蓋並びに胴板及び支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を組み合わせて構成する。	支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

c.　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

(a)　構造設計

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは，鋼製の立形ポンプの上に，原動機を取り付け，原動機によりポンプの軸を回転させる構造とする。

ポンプはポンプベースに固定する。原動機は原動機台と結合し原動機台はポンプベースに固定する。ポンプベースは据付面基礎ボルトで基礎に据え付ける。主回路用端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は，原動機にボルトで結合する。

原動機の形状は円筒形を基本とした適切な強度を有する鋼製のフレームに，主回路用端子箱等の付属設備が付加された形態とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物が堆積する原動機及び原動機台の上部に作用し，原動機フレーム及び原動機台を介して床面に伝達する構造とする。また，風荷重に対しては，原動機フレーム及び原動機台に作用し，据付面基礎ボルトを介して床面に伝達する構造とする。さらに，ポンプのスラスト荷重は全て原動機フレーム及び原動機台に作用する。

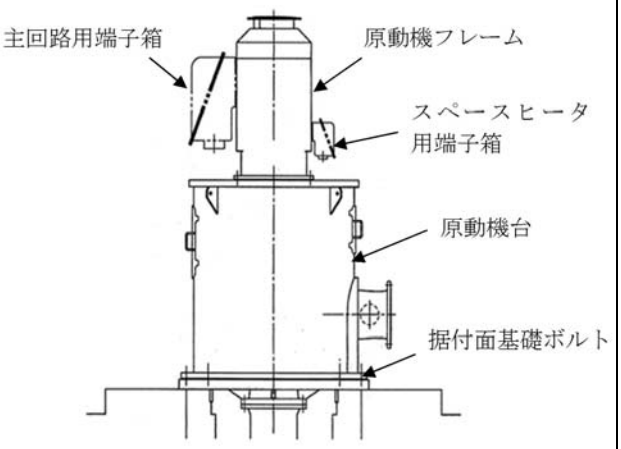
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの構造計画を表3-3に示す。

(b)　評価方針

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは，「(a)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し，荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプを構成する原動機フレーム，原動機台及び据付面基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを「5.　強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-3　ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書」に示す。

表 3-3　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは，海水ポンプ室に設置する設計としている。			
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ	原動機及び原動機に結合されたポンプで構成する。	コンクリート基礎に据付面基礎ボルトで固定する。	

d.　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

(a)　構造設計

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，胴板と支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を並べて組み合わせ，支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。また，ストレーナ上部開口部には蓋が設置されている。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物が堆積する蓋等のストレーナ上部に作用し，胴板及び支持脚を介して床面に伝達する構造とする。また，風荷重に対しては，胴板に作用し，支持脚及び基礎ボルトを介して床面に伝達する構造とする。

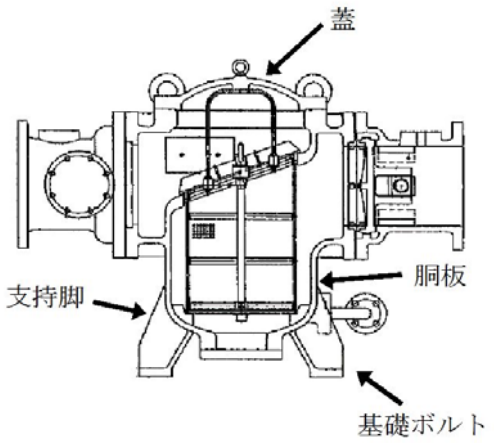
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの構造計画を表3-4に示す。

(b)　評価方針

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，「(a)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し，荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナを構成する蓋，支持脚及び基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを「5.　強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-4　ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書」に示す。

表 3-4　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，海水ポンプ室に設置する設計としている。			
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ	蓋並びに胴板及び支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を組み合わせて構成する。	支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

e.　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口

(a)　構造設計

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の構造は4脚たて置円筒形容器構造を主体構造とし，支持脚は原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎の基礎プレートに溶接により固定する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物が堆積する吸気口上面の平板に作用し，胴板及び支持脚を介して床面に伝達する構造とする。また，想定する風荷重に対しては，胴板に作用し，支持脚及び支持脚基礎溶接部を介して床面に伝達する構造とする。

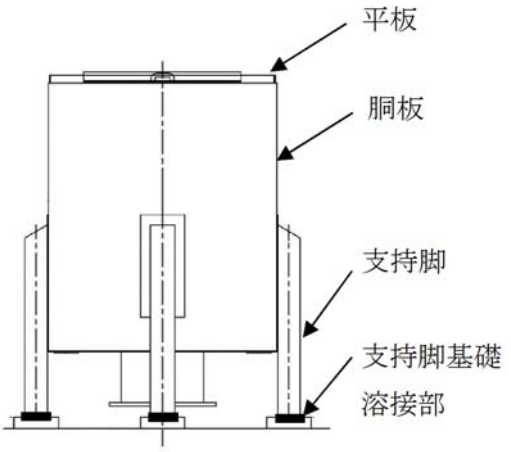
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の構造計画を表3-5に示す。

(b)　評価方針

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，「(a)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し，荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて，吸気口を構成する平板，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部が，おおむね弾性状態に留まることを「5.　強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-5　ディーゼル発電機吸気口の強度計算書」に示す。

表 3-5　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，原子炉建屋付属棟屋上に設置する設計としている。			
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口	鋼製の円筒形容器，平板及び支持脚から構成する。	原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎の基礎プレートに溶接で固定する。	

f. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン

(a) 構造設計

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，鋼製のケーシング，ケーシング部より上部の吐出フード及びケーシング内の羽根車を主体構造とし，原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物が堆積する吐出フード天板に作用し，吐出フード及びケーシングを介して床面に伝達する構造とする。また，想定する風荷重に対しては，吐出フード及びケーシングに作用し吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトを介して床面に伝達する構造とする。

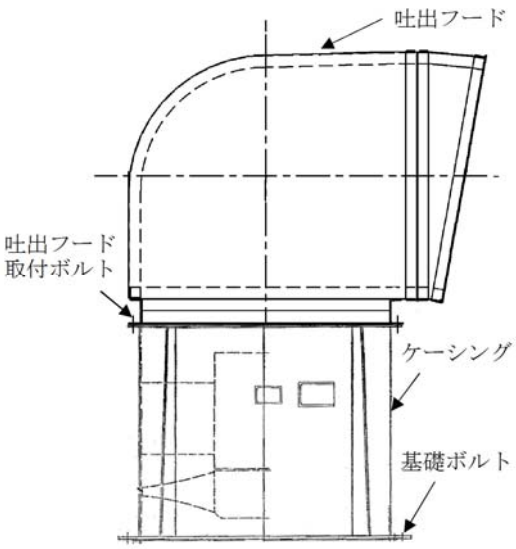
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの構造計画を表3-6に示す。

(b) 評価方針

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，「(a) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し，荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンを構成する吐出フード天板，ケーシング，基礎ボルト及び吐出フード取付ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを「5. 強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-6 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度計算書」に示す。

表 3-6　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，原子炉建屋付属棟屋上に設置する設計としている。			
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン	ケーシング，吐出フード及びケーシング内の羽根車で構成する。	原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

(2) 建屋

a. 原子炉建屋原子炉棟

(a) 構造設計

原子炉建屋原子炉棟は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

原子炉建屋原子炉棟は，鉄筋コンクリート造の屋根を，鉄筋コンクリート造の耐震壁で支持し，十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。鉄筋コンクリート造の屋根及び鉄筋コンクリート造の耐震壁は適切な強度を有する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根に作用する構造とする。また，想定する風荷重に対しては，鉄筋コンクリート造の耐震壁に作用する構造とする。

原子炉建屋原子炉棟の構造計画を表 3-7 に示す。

(b) 評価方針

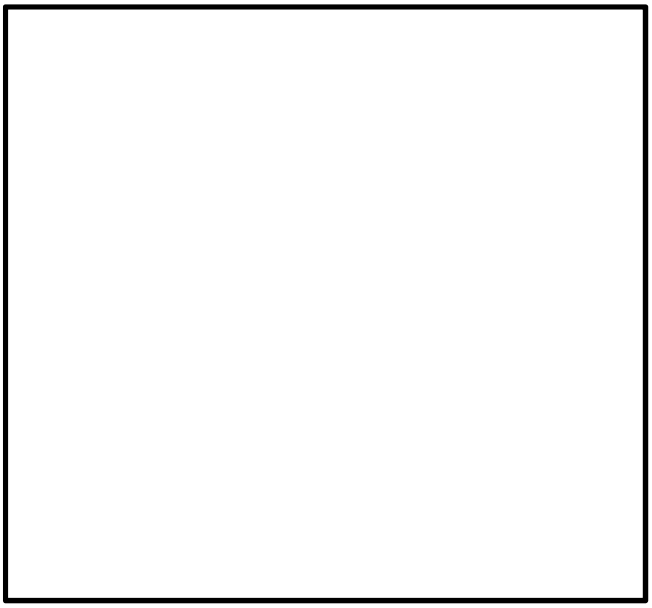
原子炉建屋原子炉棟は，「(a) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し，原子炉建屋原子炉棟の屋根及び耐震壁が，「4.2 許容限界」で示す許容限界に留まることを「5. 強度評価方法」に示す応力解析モデル等を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1-7 建屋の強度計算書」に示す。

表 3-7 原子炉建屋原子炉棟の構造計画(1/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋原子炉棟			

表 3-7　原子炉建屋原子炉棟の構造計画(2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋原子炉棟	鉄筋コンクリート造の主体構造及び鉄骨造の陸屋根で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。	 （東西方向断面） （南北方向断面）

b. 原子炉建屋付属棟

(a) 構造設計

原子炉建屋付属棟は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

原子炉建屋付属棟は，鉄筋コンクリート造の屋根を，鉄筋コンクリート造の耐震壁又は鉄骨造のはり架構で支持し，十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。鉄筋コンクリート造の屋根，鉄筋コンクリート造の耐震壁及び鉄骨造の架構は適切な強度を有する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根に作用する構造とする。また，想定する風荷重に対しては，鉄筋コンクリート造の耐震壁及び鉄骨造の架構に作用する構造とする。

原子炉建屋付属棟の構造計画を表 3-8 に示す。

(b) 評価方針

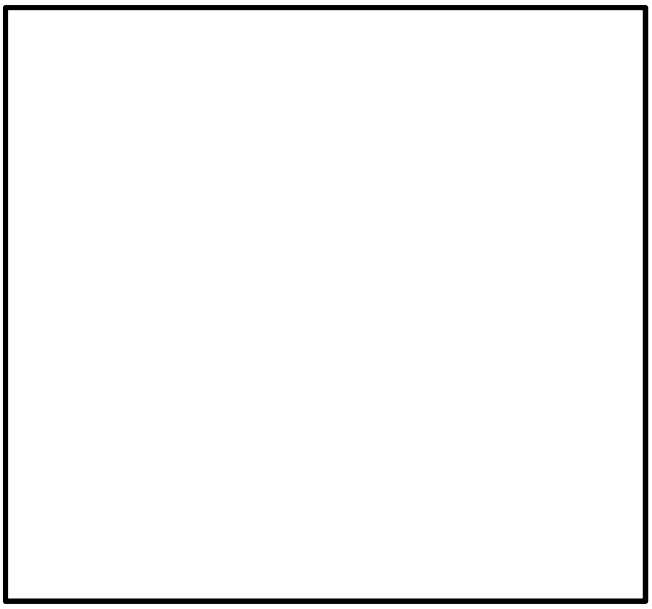
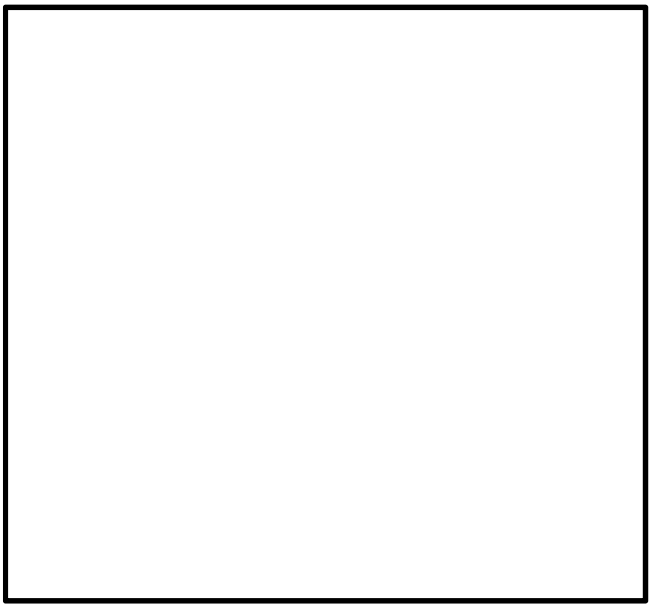
原子炉建屋付属棟は，「(a) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し，原子炉建屋付属棟の屋根，耐震壁及び鉄骨架構が，「4.2 許容限界」で示す許容限界に留まることを「5. 強度評価方法」に示す応力解析モデル等を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1-7 建屋の強度計算書」に示す。

表 3-8 原子炉建屋付属棟の構造計画(1/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋付属棟			

表 3-8　原子炉建屋付属棟の構造計画(2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋付属棟	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の主体構造及び鉄骨造の陸屋根で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。	 （東西方向断面）  （南北方向断面）

c.　タービン建屋

(a)　構造設計

タービン建屋は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

タービン建屋は，鉄筋コンクリート造の屋根を，鉄筋コンクリート造の耐震壁で支持し，十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。鉄筋コンクリート造の屋根及び鉄筋コンクリート造の耐震壁は適切な強度を有する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根に作用する構造とする。また，想定する風荷重に対しては，鉄筋コンクリート造の耐震壁に作用する構造とする。

タービン建屋の構造計画を表 3-9 に示す。

(b)　評価方針

タービン建屋は，「(a)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し，タービン建屋の屋根及び耐震壁が，「4.2　許容限界」で示す許容限界に留まることを「5.　強度評価方法」に示す応力解析モデル等を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1-7　建屋の強度計算書」に示す。

表 3-9　タービン建屋の構造計画(1/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
タービン建屋			

表 3-9　タービン建屋の構造計画(2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
タービン建屋	鉄筋コンクリート造の主体構造及び鉄骨造の陸屋根で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。	 （東西方向断面） （南北方向断面）

d. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

(a) 構造設計

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，鉄筋コンクリート造の屋根を，鉄筋コンクリート造の耐震壁で支持し，十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。鉄筋コンクリート造の屋根及び鉄筋コンクリート造の耐震壁は適切な強度を有する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根に作用する構造とする。また，想定する風荷重に対しては，鉄筋コンクリート造の耐震壁に作用する構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造計画を表 3-10 に示す。

(b) 評価方針

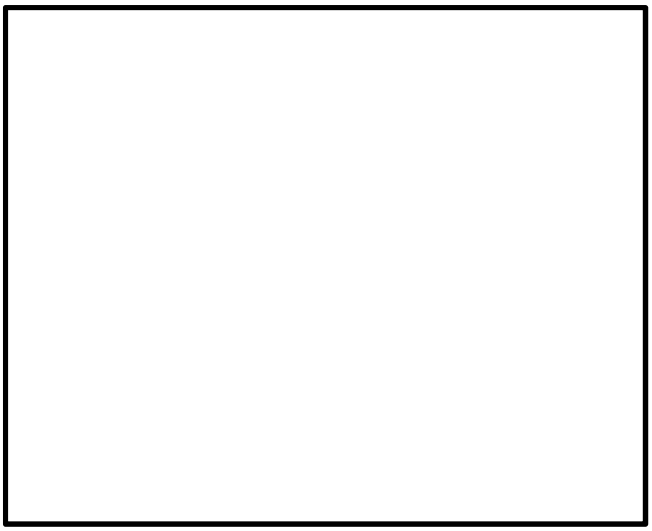
使用済燃料乾式貯蔵建屋は，「(a) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し，使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根及び耐震壁が，「4.2 許容限界」で示す許容限界に留まることを「5. 強度評価方法」に示す応力解析モデル等を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1-7 建屋の強度計算書」に示す。

表 3-10 使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造計画(1/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料乾式貯蔵建屋			

表 3-10　使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造計画(2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）の主体構造及び鉄骨造の陸屋根で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し，耐震壁等を介し，基礎版へ伝達する構造とする。	 （東西方向断面） （南北方向断面）

4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

評価対象施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2　許容限界」に示す。

4.1　荷重及び荷重の組合せ

評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重は，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちⅤ-1-1-2-4-3にて設定しており，それらを「(1)　荷重の種類」に示す。また，評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重の組合せの考え方は，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちⅤ-1-1-2-4-3にて定めており，これらを踏まえて，強度評価において考慮すべき荷重の組合せを設定する。評価対象施設の荷重の組合せを「(2)　荷重の組合せ」に示す。

(1)　荷重の種類

a.　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重は，Ⅴ-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2)a.　荷重の種類」で設定している常時作用している荷重に従って，持続的に生じる荷重である自重及び積載荷重とする。

b.　降下火砕物による荷重（F_{v0}）

降下火砕物による荷重は，Ⅴ-1-1-2-4-1の「2.1.2　設計に用いる降下火砕物特性」の降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a.　荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて，湿潤密度1.5 g/cm^{3}の降下火砕物が50 cm堆積した場合の荷重とする。

c.　積雪荷重（F_s）

積雪深は，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちⅤ-1-1-2-1-1「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」（以下「Ⅴ-1-1-2-1-1」という。）の「4.1(4)　自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて，茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）による東海村の垂直積雪量30 cmに平均的な積雪荷重*を与えるための係数0.35を考慮し10.5 cmとする。積雪荷重については，建築基準法施行令第86条第2項により，積雪量1 cmごとに20 N/m^{2}の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

注記　＊：建築物の構造関係技術基準解説書

d.　風荷重（W）

風速は，Ⅴ-1-1-2-1-1 の「4.1(4)　自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる風速を踏まえて，建築基準法施行令に基づく平成 12 年建設省告示第 1454 号に定められた東海村の基準風速である 30 m/s とする。風荷重については，施設の形状により風力係数等が異なるため，施設ごとに設定する。

e.　運転時の状態で作用する荷重（F_p）

運転時の状態で作用する荷重としては，Ⅴ-1-1-2-4-1の「2.1.3(2)a.　荷重の種類」で設定している運転時の状態で作用する荷重に従って，ポンプのスラスト荷重等の運転時荷重とする。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重については，それらの組合せを考慮し，自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 評価対象施設の荷重の組合せ

評価対象施設の荷重の組合せについては，自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

ただし，評価対象施設のうち残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは，動的機器であるため，運転時の状態で作用する荷重を考慮する。

残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは内包水の荷重を考慮する。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは完全開放された施設であるため，運転時の状態で作用する荷重は考慮しない。

なお，常時作用する荷重，積雪荷重，風荷重及び運転時の状態で作用する荷重については，組み合わせることで降下火砕物による荷重の抗力となる場合には，評価結果が保守的となるよう荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ，対象施設の強度評価における荷重の組合せの設定については，施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。対象施設ごとの荷重の組合せの考え方を表 4-1 に示す。

表 4-1　対象施設ごとの荷重の組合せ

施設分類	強度評価の対象施設	荷　重*						
		常時作用する荷重（F_d）			降下火砕物による荷重（F_{v0}）	積雪荷重（F_s）	風荷重（W）	運転時の状態で作用する荷重等（F_p）
		自重	積載荷重	水頭圧				
設備	・残留熱除去系海水系ポンプ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ	○	－	－	○	○	○	○
	・残留熱除去系海水系ストレーナ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ	○	－	－	○	○	○	○
	・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口	○	－	－	○	○	○	－
	・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン	○	－	－	○	○	○	－
建屋	・原子炉建屋原子炉棟 ・原子炉建屋付属棟 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	○	－	○	○	○	－

注記　＊：○は考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち,「4.1(2)a. 降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算出式を以下に示す。鉛直荷重については，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書」から添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1-7 建屋の強度計算書」の各計算書にて共通で使用するための算出式を用いた荷重の算出も行う。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定　　義
A_1	m^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	－	風力係数
E’	－	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	－	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
F_{v0}	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F_s	N/m^2	積雪荷重
F_v’	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_s	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	m	全高
H_v	m	降下火砕物の層厚
H_S	cm	組合せ荷重として考慮する積雪深
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	基準風速
W	N	風荷重
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
α	－	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
ρ	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については，湿潤状態の降下火砕物及び積雪を考慮する。

湿潤状態の降下火砕物による荷重は，次式のとおり算出する。

$$F_{v0} = \rho \cdot g \cdot H_v$$

積雪荷重は，次式のとおり算出する。

$$F_s = f_s \cdot H_s$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3　入力条件

ρ (kg/m^3)	g (m/s^2)	H_v (m)	f_s (N/(m^2・cm))	H_s (cm)
1500	9.80665	0.5	20	10.5

上記式より，F_{v0}=7355 N/m^2，F_s=210 N/m^2 である。

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重（以下「降下火砕物等堆積による鉛直荷重」という。）は，次式のとおり算出する。

$$F_v' = F_{v0} + F_s$$

以上より，F_v'=7565 N/m^2 とする。

c. 水平荷重

水平荷重については，風を考慮する。風速を建築基準法施行令の基準風速に基づき 30 m/s に設定し，風荷重については施設の形状により異なるため施設ごとに算出する。

風荷重の算出式は建築基準法施行令第 87 条に基づき，以下のとおりである。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^{\alpha}$（H が Z_b を超える場合）

$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^{\alpha}$（H が Z_b 以下の場合）

4.2　許容限界

許容限界は，V-1-1-2-4-3 の「4.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2　機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

「4.1　荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた，評価対象部位ごとの許容限界を表 4-4 に示す。

対象施設ごとの許容限界の詳細は，各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ，評価項目を選定し定める。

(1) 設備

a. 残留熱除去系海水系ポンプ

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している残留熱除去系海水系ポンプの構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a) 原動機フレーム，原動機台及び据付面基礎ボルト

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，ポンプを構成する原動機フレーム，原動機台及び据付面基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

b. 残留熱除去系海水系ストレーナ

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a) 蓋，支持脚及び基礎ボルト

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，ストレーナを構成する蓋，支持脚及び基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，蓋に対しては弾性範囲内である設計降伏点S_{y}並びに支持脚及び基礎ボルトに対してはＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

c. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定しているディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a) 原動機フレーム，原動機台及び据付面基礎ボルト

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，ポンプを構成する原動機フレーム，原動機台及び据付面基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，ＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力を許容限界として設定する。

d. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水スト

レーナの許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4.　要求機能及び性能目標」で設定している非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの構造強度設計上の性能目標及び「3.2　機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a)　蓋，支持脚及び基礎ボルト

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，ストレーナを構成する蓋，支持脚及び基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，蓋に対しては弾性範囲内である設計降伏点S_y並びに支持脚及び基礎ボルトに対してはＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態III_AＳの許容応力を許容限界として設定する。

e.　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4.　要求機能及び性能目標」で設定している非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の構造強度設計上の性能目標及び「3.2　機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a)　平板，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，吸気口を構成する平板，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部が，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，平板に対しては弾性範囲内である設計降伏点S_y並びに胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部に対してはＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態III_AＳの許容応力を許容限界として設定する。

f.　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4.　要求機能及び性能目標」で設定している非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼ発電機を含む。）室ルーフベントファンの構造強度設計上の性能目標及び「3.2　機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a)　吐出フード天板，ケーシング，吐出フード取付ボルト及び基礎ボルト

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，ファンを構成する吐出フード天板，ケーシング，吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，吐出フード天板に対しては弾性範囲内である設計降伏点

S_y並びにケーシング，吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに対してはＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態III_AＳの許容応力を許容限界として設定する。

(2) 建屋

a. 原子炉建屋原子炉棟

原子炉建屋原子炉棟の許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している原子炉建屋原子炉棟の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根

原子炉建屋原子炉棟の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，評価対象部位に求められる機能が担保できる許容限界を設定する。屋根スラブは，原子炉建屋原子炉棟の要求機能である放射性物質の閉じ込め機能（以下「気密性」という。）及び放射線の遮蔽機能（以下「遮蔽性」という。）を担保するために，原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「ＲＣ－Ｎ規準」という。）に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。また，主トラス及び母屋（二次部材）は，構造健全性を維持することを性能目標としていることから，終局耐力に対して妥当な安全裕度を有する許容限界を設定する。

(b) 耐震壁

原子炉建屋原子炉棟の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，構造健全性を維持することを性能目標としていることからＪＥＡＧ４６０１に基づき最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を耐震壁の許容限界として設定する。

b. 原子炉建屋付属棟

原子炉建屋付属棟の許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している原子炉建屋付属棟の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根

原子炉建屋付属棟の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，評価対象部位に求められる機能が担保できる許容限界を設定する。原子炉建屋付属棟の屋根は内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，屋根スラブは終局耐力，主トラス及び母屋（二次部材）は崩壊機構が形成されないことを許容限界として設定する。

(b) 耐震壁

原子炉建屋付属棟の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，ＪＥＡＧ４６０１に基づき最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} を耐震壁の許容限界として設定する。

(c) 鉄骨架構

原子炉建屋付属棟の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，

風荷重及びその他の荷重に対し，内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，建築基準法施行令に基づき層間変形角１/200を許容限界として選定する。

c. タービン建屋

タービン建屋の許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定しているタービン建屋の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根

タービン建屋の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，評価対象部位に求められる機能が担保できる許容限界を設定する。タービン建屋の屋根は内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，屋根スラブは終局耐力，主トラス及び母屋（二次部材）は崩壊機構が形成されないことを許容限界として設定する。

(b) 耐震壁

タービン建屋の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，ＪＥＡＧ４６０１に基づき最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}を耐震壁の許容限界として設定する。

d. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋の許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している使用済燃料乾式貯蔵建屋の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根

使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，評価対象部位に求められる機能が担保できる許容限界を設定する。屋根は内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，屋根スラブは終局耐力を，主トラス及びサブトラス（二次部材）は崩壊機構が形成されないことを許容限界として設定する。

(b) 耐震壁

使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，ＪＥＡＧ４６０１に基づき最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}を耐震壁の許容限界として設定する。

表 4-4　施設ごとの許容限界（1/6）

施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
・残留熱除去系海水系ポンプ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ	$F_d+F_V+F_p$	原動機台	圧縮	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	ＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態ⅢＡＳの許容応力以下とする*
	$F_d+F_V+W+F_p$	原動機フレーム	圧縮 引張 せん断 組合せ		
		据付面基礎ボルト	引張 せん断 組合せ		
・残留熱除去系海水系ストレーナ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ	$F_d+F_V+F_p$	蓋	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	弾性範囲内である設計降伏点S_yとする
	$F_d+F_V+W+F_p$	支持脚	圧縮		ＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態ⅢＡＳの許容応力以下とする*
		基礎ボルト	引張 せん断 組合せ		

F_d：常時作用する荷重　　W：風荷重

F_v：降下火砕物等堆積による鉛直荷重　　F_p：運転時の状態で作用する荷重

注記　＊：表 4-5　ＪＥＡＧ４６０１「クラス 2，3 支持構造物」の許容限界を準用する。

表 4-4　施設ごとの許容限界（2/6）

施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口	F_d+F_v	平板	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	弾性範囲内である設計降伏点S_yとする
	F_d+F_v+W	胴板	一次一般膜 一次 一次＋二次		ＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする*1, 2
		支持脚	組合せ 座屈 （圧縮＋曲げ）		
		支持脚基礎溶接部	引張 せん断 組合せ		
・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン	F_d+F_v	吐出フード天板	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	弾性範囲内である設計降伏点S_yとする
		ケーシング	圧縮		ＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓの許容応力以下とする*1
	F_d+F_v+W	吐出フード取付ボルト	引張 せん断 組合せ		
		基礎ボルト	引張 せん断 組合せ		

F_d：常時作用する荷重　　W：風荷重

F_v：降下火砕物等堆積による鉛直荷重

注記　＊1：表 4-5 ＪＥＡＧ４６０１「クラス 2，3 支持構造物」の許容限界を準用する。

＊2：表 4-6 ＪＥＡＧ４６０１「クラス 2，3 容器」の許容限界を準用する。

表 4-4　施設ごとの許容限界（3/6）

施設名称	要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位		構造健全性維持のための考え方	許容限界	評価に用いる基準
原子炉建屋原子炉棟	－	構造健全性を維持すること	屋根	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対し妥当な安全余裕を有する許容限界	ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度*1
				主トラス		終局耐力に対し妥当な安全余裕を有する許容限界	弾性限耐力*2
				母屋（二次部材）			
			耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
	気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	屋根スラブ		部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度	ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度
	遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽機能を損なわないこと	屋根スラブ		部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度	ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度

注記　＊1：構造強度に対しては，「終局耐力に対し妥当な安全余裕を有する許容限界」が許容限界となるが，気密性，遮蔽性において「短期許容応力度」を許容限界としていることから，「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005）」（以下「ＲＣ－Ｎ規準」という。）の短期許容応力度で評価

＊2：弾性限耐力として「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）」（以下「Ｓ規準」という。）の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用

表 4-4　施設ごとの許容限界（4/6）

施設名称	要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位		構造健全性維持のための考え方	許容限界*1	評価に用いる基準
原子炉建屋付属棟	－	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	終局耐力	弾性限耐力*2
				母屋（二次部材）	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと	崩壊機構が形成されないこと*3
			耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}	最大せん断ひずみ*7 2.0×10^{-3}
			鉄骨架構		層間変形角が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/200	層間変形角 1/200

注記　＊1：複数部材で構成されている屋根において，単一部材である屋根スラブは，部材の終局耐力を許容限界とし，構造体として母屋が崩壊しないことを許容限界とする。

＊2：弾性限耐力として「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用

＊3：部材の構造健全性評価においては，弾性限耐力*4が基本となるが，一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は，その部材に対して，修正若林式*5*6及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い，構造健全性を評価する。なお，適切な裕度を有していることを，荷重増分解析により確認する。

＊4：弾性限耐力として「Ｓ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用

＊5：鉄骨Ｘ型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol.37B, pp.303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）

＊6：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 76 巻 第 661 号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

＊7：原子炉建屋原子炉棟と一体構造であることから，原子炉建屋原子炉棟の許容限界を適用する。

表 4-4　施設ごとの許容限界（5/6）

施設名称	要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位		構造健全性維持のための考え方	許容限界*1	評価に用いる基準
タービン建屋	－	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	終局耐力	弾性限耐力*2
				主トラス	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと	崩壊機構が形成されないこと*3
				母屋（二次部材）			
			耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}

注記　＊1：複数部材で構成されている屋根において，単一部材である屋根スラブは，部材の終局耐力を許容限界とし，構造体として主トラス，母屋が崩壊しないことを許容限界とする。

＊2：弾性限耐力として「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用

＊3：部材の構造健全性評価においては，弾性限耐力*4が基本となるが，一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は，その部材に対して，修正若林式*5*6及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い，構造健全性を評価する。なお，適切な裕度を有していることを，荷重増分解析により確認する。

＊4：弾性限耐力として「Ｓ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用

＊5：鉄骨Ｘ型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol.37B, pp.303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）

＊6：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 76 巻 第 661 号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

表 4-4　施設ごとの許容限界（6/6）

施設名称	要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位		構造健全性維持のための考え方	許容限界*	評価に用いる基準
使用済燃料乾式貯蔵建屋	－	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	終局耐力	ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度
				主トラス	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと	Ｓ規準の短期許容応力度
				サブトラス（二次部材）			
			耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}

注記　＊：複数部材で構成されている屋根において，単一部材である屋根スラブは，部材の終局耐力を許容限界とし，構造体として主トラス，母屋が崩壊しないことを許容限界とする。

表 4-5　ＪＥＡＧ４６０１「クラス 2，3 容器」の許容限界

許容応力状態	許容限界*		
	一次一般膜応力	一次	一次＋二次応力
ⅢＡＳ	S_y と 0.6S_u の小さい方。 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2Ｓとの大きい方。	左欄の 1.5倍の値	$2S_y$

注記　＊：座屈に対する評価が必要な場合には，クラスＭＣ容器の座屈に対する評価式による。

表 4-6　ＪＥＡＧ４６０１「クラス 2，3 支持構造物」の許容限界

許容応力状態	許容限界* （ボルト以外）				許容限界* （ボルト等）	
	一次応力				一次応力	
	圧縮	曲げ	引張	せん断	引張	せん断
ⅢＡＳ	1.5f_c	1.5f_b	1.5f_t	1.5f_s	1.5f_t	1.5f_s

注記　＊：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

5. 強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・ ＦＥＭ等を用いた解析法

・ 定式化された評価式を用いた解析法

風荷重による影響を考慮する施設については，建築基準法施行令等に基づき風荷重を考慮し，設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから，評価上高さの 1/2 又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとしており，これはＪＥＡＧ４６０１耐震評価における１質点モデルと等価なものであり，地震荷重を風荷重と置き換えＪＥＡＧ４６０１に基づき評価を行う。

風荷重を考慮した，降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち，設備及び建屋の強度評価方法を以下に示す。

5.1　設備

5.1.1　残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

(1)　評価条件

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　風荷重による影響が大きな原動機フレーム及び据付面基礎ボルトの強度計算モデルは，1 質点系モデルとし，ＪＥＡＧ４６０１の立形ポンプの計算方法を参考に評価を行う。なお，1 質点系モデルの強度計算において，評価上の高さの 1/2 又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。計算モデルを図 5.1.1-1 及び図 5.1.1-2 に示す。

b.　鉛直荷重によって一様な応力が発生する原動機台は，機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。

c.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

d.　水平方向と鉛直方向のモーメントの組合せは，安全側に絶対和の評価とする。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.1.1-1 に示す。

表 5.1.1-1　評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
原動機台	圧縮
原動機フレーム	曲げ，圧縮
据付面基礎ボルト	引張，せん断，組合せ

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの強度評価に用いる記号を表 5.1.1-2 に示す。

表 5.1.1-2　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_2	mm^2	降下火砕物等の堆積面積
A_b	mm^2	ボルトの断面積
B_1	mm	原動機台外径
B_2	mm	原動機台内径
B_3	mm	原動機フレーム外径
B_4	mm	原動機フレーム内径
d	mm	基礎ボルト呼び径
F	N	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される値
F_d	N	原動機自重による軸方向荷重
F_p	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
F_i	N	各ボルトに作用する引張力
F_n	N	ボルトに作用する最大引張力
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v'	N/mm^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
H_s	N	原動機自重及びポンプスラストによる軸方向荷重
h	mm	取付面から荷重作用点までの距離
L_i	mm	ボルト間の距離
L_n	mm	各ボルト間距離のうち最長距離
M	N・mm	評価対象部位に作用するモーメント
M_1	N・mm	水平荷重により原動機フレームに作用するモーメント
M_2	N・mm	鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント
m	kg	原動機の質量
N	－	ボルトの本数
P	kg	ポンプスラスト荷重
Q_b	N	ボルトに対するせん断力
S_1	mm^2	原動機台の断面積
S_2	mm^2	原動機フレームの断面積
Z	mm^3	断面係数
π	－	円周率
σ_c	MPa	評価対象部位に生じる圧縮応力
σ_b	MPa	原動機フレームに生じる曲げ応力
σ_t	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	せん断応力

b.　計算モデル

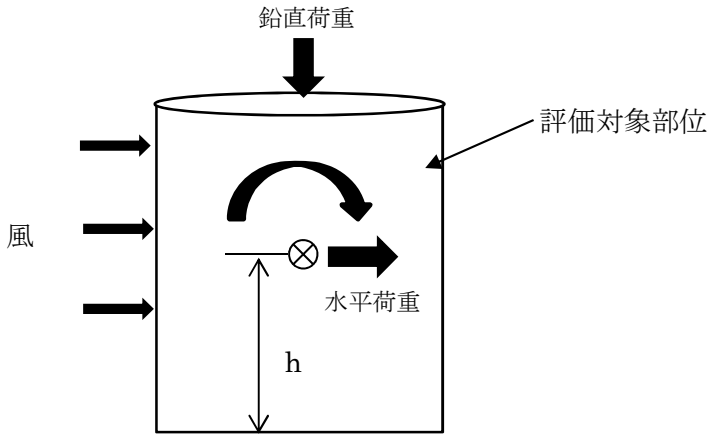


図 5.5.1-1　1 質点系モデル図（原動機フレーム）

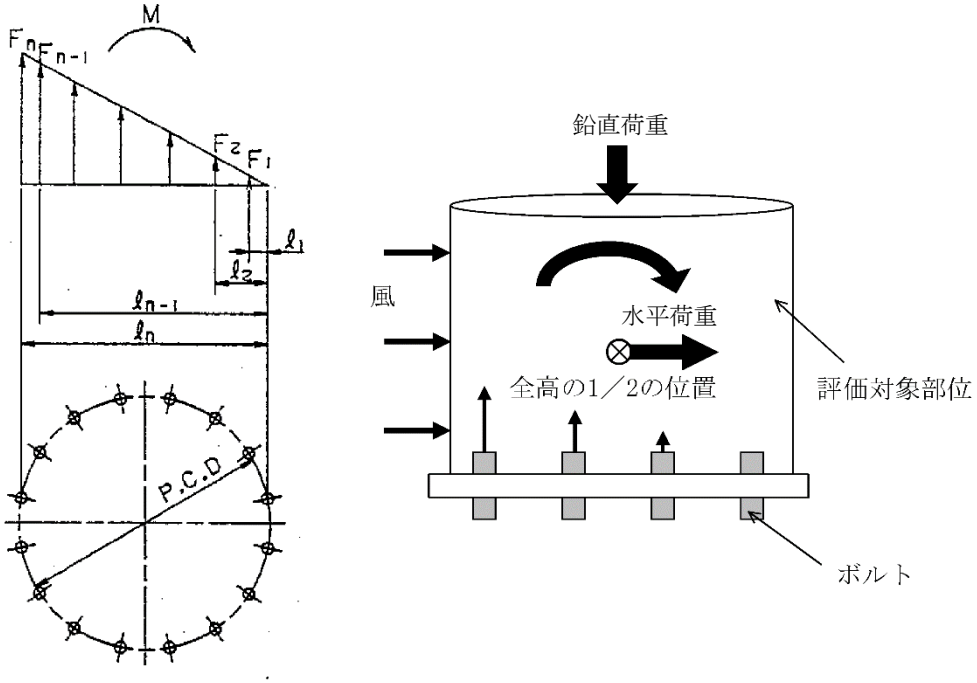


図 5.1.1-2　1 質点系モデル図（据付面基礎ボルト）

c. 応力計算

(a) 鉛直方向荷重

イ. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F'_v \cdot A_2$$

ロ. 原動機台，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトに作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重

$$H_s = F_d + F_p$$

ここで,

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

(b) 原動機台に生じる応力

イ. 圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H_s}{S_1}$$

ここで,

$$S_1 = \frac{\pi}{4}\left(B_1^{\,2} - B_2^{\,2}\right)$$

原動機台の断面図を図 5.1.1-3 に示す。

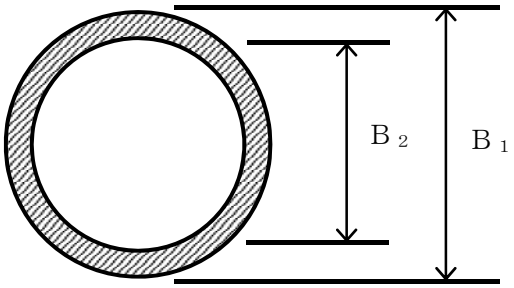


図 5.1.1-3 原動機台の断面図

(c) 原動機フレームに生じる応力

イ. 曲げ応力

原動機フレームに生じる曲げ応力σ_bは次式より算出される。

（イ） 風（台風）による水平荷重により原動機フレームに作用するモーメントM_1

$$M_1 = W \cdot h$$

（ロ） 鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメントM_2

$$M_2 = \frac{\left(F_v + H_s\right) \cdot B_3}{2}$$

（ハ） 原動機フレームに作用するモーメントM

$$M = M_1 + M_2$$

（ニ） 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで

$$Z = \frac{\pi}{32}\left(\frac{B_3^{\,4} - B_4^{\,4}}{B_3}\right)$$

ロ． 圧縮応力

原動機フレームに生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + H_s}{S_2}$$

ここで,

$$S_2 = \frac{\pi}{4}\left(B_3^{\,2} - B_4^{\,2}\right)$$

原動機フレームの断面図を図 5.1.1-4 に示す。

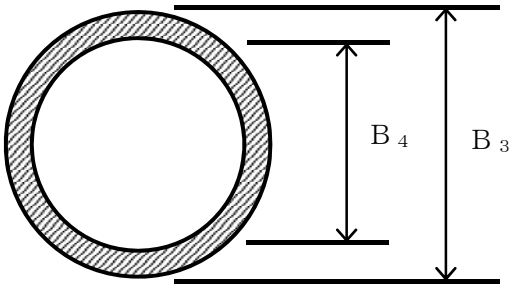


図 5.1.1-4　原動機フレームの断面図

(d)　据付面基礎ボルトに生じる応力

イ．　引張応力

据付面基礎ボルトに生じる引張応力σ_tは次式より算出される。

（イ）　引張力

$$M=2\sum_{i=1}^{n}F_i\cdot L_i \qquad \cdots \quad (5.1.1\text{-}1)$$

$$\frac{F_i}{L_i}=一定 \qquad \cdots \quad (5.1.1\text{-}2)$$

(5.1.1-1)　(5.1.1-2) 式より,

$$F_n=\frac{M}{2\sum_{i=1}^{n}L_i^2}L_n$$

ここで，Mは以下による。

$$M=W\cdot h+(F_v+H_s)\cdot\frac{L_n}{2}$$

（ロ）　引張応力

$$\sigma_t=\frac{F_n}{A_b}$$

ここで，据付面基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b=\frac{\pi}{4}d^2$$

ロ．　せん断応力

据付面基礎ボルトに生じるせん断応力τは次式より算出される。据付面基礎ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

（イ）　せん断力

$$Q_b=W$$

（ロ）　せん断応力

$$\tau=\frac{Q_b}{A_b\cdot N}$$

5.1.2　残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

(1)　評価条件

残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　降下火砕物が堆積する蓋に対し，等分布荷重が作用する平板円板として機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。計算モデル図を図 5.1.2-1 に示す。

b.　風荷重による影響が大きな基礎ボルトの強度計算モデルは，1 質点系モデルとし，計算モデルが類似しているＪＥＡＧ４６０１の横形ポンプの計算方法を参考に評価を行う。なお，1 質点系モデルの強度計算において，評価上高さの 1/2 又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。計算モデル図を図 5.1.2-2 に示す。

c.　鉛直荷重によって一様な応力が発生する支持脚は，機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。

d.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

e.　降下火砕物等堆積による鉛直方向荷重については，平板の面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

f.　水平方向と鉛直方向のモーメントの組合せは，安全側に絶対和の評価とする。

g.　通常運転時状態の保有水量状態を考慮し，評価を行う。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.1.2-1 に示す。

表 5.1.2-1　評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
蓋	曲げ
支持脚	圧縮
基礎ボルト	引張，せん断，組合せ

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの強度評価に用いる記号を表 5.1.2-2 に示す。

表 5.1.2-2　残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_2	mm^2	降下火砕物等の堆積面積
A_b	mm^2	基礎ボルトの軸断面積
a	mm	蓋の外半径
B_{x1}	mm	支持脚の寸法
B_{x2}	mm	支持脚の寸法
B_{y1}	mm	支持脚の寸法
B_{y2}	mm	支持脚の寸法
d	mm	基礎ボルト呼び径
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_b	N	基礎ボルトに対する引張力
F_d	N	ストレーナ自重（内包水含む）による荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v'	N/mm^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
H_s	N	支持脚に常時作用するストレーナ自重（内包水含む）の荷重
h	mm	蓋の板厚
h_g	mm	ストレーナ重心高さ
L_1	mm	基礎ボルト間の水平距離
L_H	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	容器の有効運転質量*
N	－	基礎ボルトの本数
n_f	－	引張力を受ける基礎ボルトの本数
p	N/mm^2	蓋に作用する等分布荷重
Q_b	N	基礎ボルトに対するせん断力
S	mm^2	支持脚の断面積
π	－	円周率
σ_b	MPa	蓋に生じる曲げ応力
σ_c	MPa	支持脚に生じる圧縮応力
σ_t	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

注記　＊：有効運転質量は，容器の満水時における質量とする。

b.　計算モデル

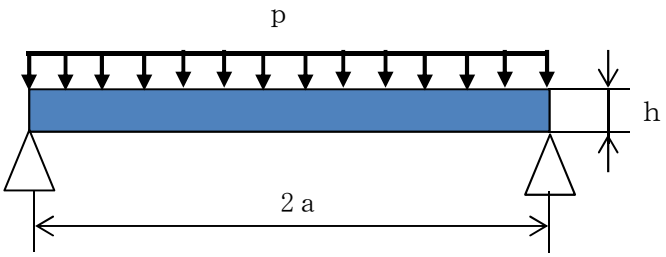


図 5.1.2-1　等分布荷重による計算モデル図

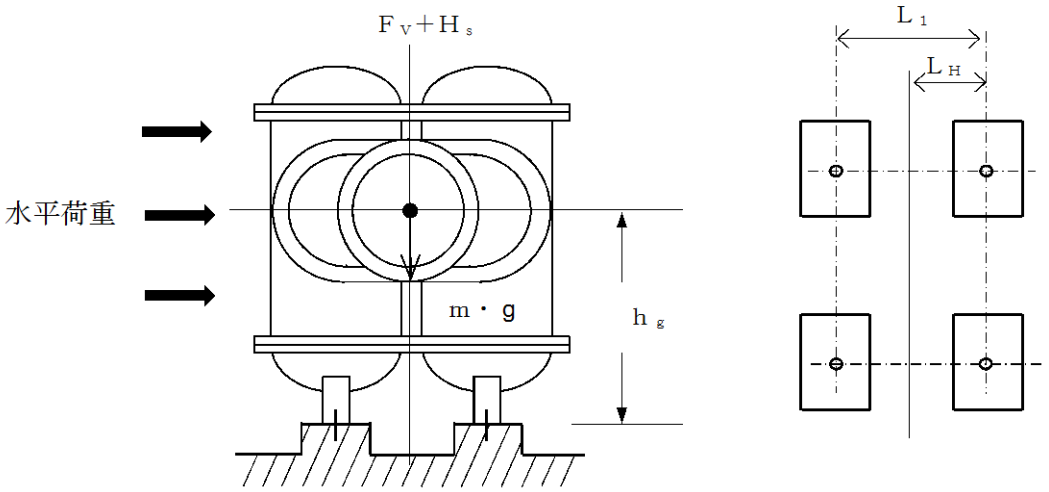


図 5.1.2-2　1 質点系モデル図

c.　応力計算

(a)　鉛直方向荷重

イ.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

ロ.　支持脚に常時作用するストレーナ自重による軸方向荷重

$$H_s = F_d$$

ここで,

$$F_d = m \cdot g$$

(b)　蓋に生じる応力

イ．　曲げ応力

蓋に生じる曲げ応力σ_bは次式より算出される。

$$\sigma_b = 1.24 \cdot \frac{p \cdot a^2}{h^2}$$

(c)　支持脚に生じる応力

イ．　圧縮応力

支持脚に生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + H_s}{S}$$

ここで

$$S = \left\{ \left(B_{x1} \cdot B_{y1} \cdot 2 \right) + \left(B_{x2} \cdot B_{y2} \right) \right\} \cdot 4$$

支持脚の断面図を図 5.1.2-3 に示す。

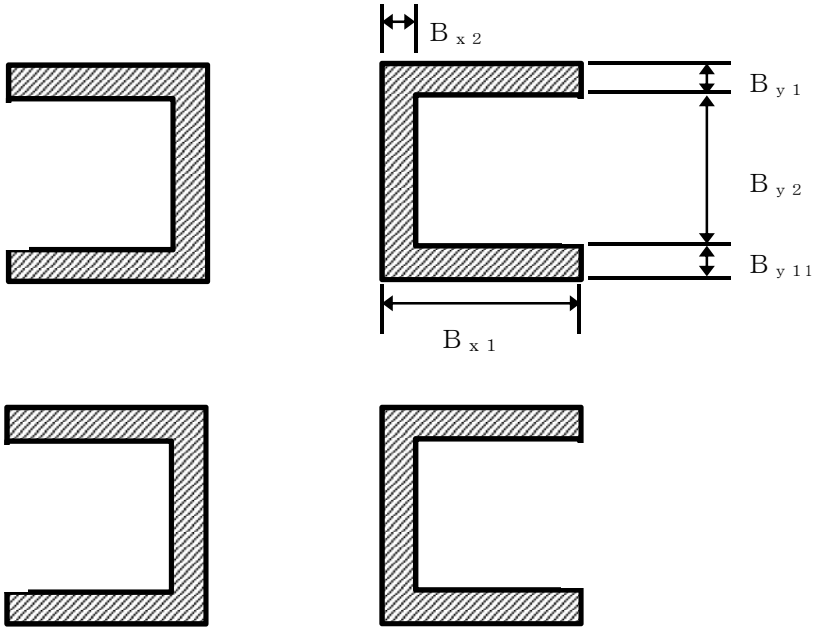


図 5.1.2-3　支持脚の断面図

(d) 基礎ボルトに生じる応力

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力σ_tは次式より算出される。

最も厳しい条件として，基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

（イ） 引張力

$$F_b = \frac{W \cdot h_g + (m \cdot g + F_V) L_H}{n_f \cdot L_1}$$

ここで,

$$F_v = F'_v \cdot A_2$$

（ロ） 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力τは次式より算出される。基礎ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

（イ） せん断力

$$Q_b = W$$

（ロ） せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

5.1.3　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口

(1)　評価条件

非常用ディーゼル発電機高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　降下火砕物が堆積する平板に対し，等分布荷重が作用する周辺支持円板として機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。計算モデル図を図 5.1.3-1 に示す。

b.　風荷重による影響が大きな胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部の強度計算モデルは，1 質点系モデルとし，ＪＥＡＧ４６０１の 4 脚たて置円筒形容器又は機械工学便覧の計算方法を準用し評価を行う。なお，1 質点系モデルの強度計算において，評価上高さの 1/2 又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。計算モデル図を図 5.1.3-2 に示す。

c.　計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

d.　降下火砕物等堆積による鉛直方向荷重については，平板の面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

e.　水平方向と鉛直方向のモーメントの組合せは，安全側に絶対和の評価とする。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.1.3-1 に示す。

表 5.1.3-1　評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
平板	曲げ
胴板	一次一般膜，一次 一次＋二次
支持脚	組合せ， 座屈（圧縮＋曲げ）
支持脚基礎溶接部	引張，せん断，組合せ

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の強度評価に用いる記号を表 5.1.3-2 に示す。

表 5.1.3-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
吸気口の強度評価に用いる記号（1/6）

記号	単位	定義
A_2	mm^2	降下火砕物等の堆積面積
A_s	mm^2	脚の断面積
A_{sr}	mm^2	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積
A_{st}	mm^2	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積
A_w	mm^2	支持脚基礎溶接部の有効面積
a	mm	平板の外半径
C_1	mm	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の周方向)
C_2	mm	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の軸方向)
C_c，C_L	－	応力の補正係数
D_1	mm	胴の内径
D_o	mm	吸気口幅（全幅）
E	MPa	胴の縦弾性係数
E_s	MPa	脚の縦弾性係数
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_0	N	振動モデル系における水平力
F_d	N	運転時の状態で作用する荷重
F_s'	N/mm^2	単位面積当たりの積雪による鉛直荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v'	N/mm^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	脚の許容圧縮応力
f_{br}	MPa	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力
f_{bt}	MPa	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力
f_s	MPa	脚の許容せん断応力
f_t	MPa	脚の許容引張応力
G_s	MPa	脚のせん断弾性係数
h	mm	平板の板厚
I	mm^4	胴の断面 2 次モーメント
I_{sr}	mm^4	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント
I_{st}	mm^4	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント
J_s	mm^4	脚のねじりモーメント係数
K_c	－	脚の胴つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数
K_L	－	胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数

表 5.1.3-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
吸気口の強度評価に用いる記号（2/6）

記号	単位	定義
K_r	－	胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数
k_L	－	アタッチメントパラメータ軸方向の補正係数
k_c	－	アタッチメントパラメータ周方向の補正係数
L	mm	脚の長さ
L_1	mm	支持脚間水平距離
L_c	mm	脚の中立軸間の距離
L_g	mm	基礎から容器上部重心までの距離
L_H	mm	重心から支持脚間の水平距離
M_1	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント
M_3	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部のねじりモーメント
M_c	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向モーメント（圧縮側）
M_L	N・mm	運転時質量による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント（引張側）
M_{L2}	N・mm	降下火砕物荷重,積雪荷重による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント（引張側）
M_x	N・mm	胴に生じる軸方向の曲げモーメント
M_ϕ	N・mm	胴に生じる周方向の曲げモーメント
m_0	kg	運転時質量
N_x	N/mm	胴に生じる軸方向の膜力
N_ϕ	N/mm	胴に生じる周方向の膜力
p	N/mm^2	平板に作用する等分布荷重
P	N	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
P_1	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
P_2	N	降下火砕物荷重及び積雪荷重による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
Q	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向荷重
Q_1	N	支持脚に作用するせん断荷重
R	N	運転時質量による脚の軸力
R_1	N	風荷重(Z方向)により脚に作用する軸力
R_2	N	降下火砕物荷重及び積雪荷重により脚に作用する軸力
r_m	mm	胴の平均半径
t	mm	胴の板厚
T	N	支持脚に作用する引張荷重
u	mm	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離

表 5.1.3-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
吸気口の強度評価に用いる記号（3/6）

記号	単位	定義
W_1	N	風（台風）による水平荷重
W_2	N	降下火砕物堆積による鉛直荷重
W_3	N	積雪による鉛直荷重
Z_{sr}	mm^3	脚の半径方向軸に対する断面係数
Z_{st}	mm^3	脚の周方向軸に対する断面係数
β，β_1，β_2 β_c，β_L	－	アタッチメントパラメータ
Δ_r	mm	運転時質量による胴の半径方向局部変位量
Δ_{r1}	mm	水平力F_0による胴の半径方向局部変位量
Δ_{x1}	mm	水平力F_0による第1脚上端の水平方向変位量
Δ_{x3}	mm	水平力F_0による第2脚上端の水平方向変位量
Δ_{y1}	mm	水平力F_0による第1脚の鉛直方向変位量
θ	rad	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角
θ_0	rad	水平力F_0による胴の中心軸の傾き角
θ_1	rad	水平力F_0による第1脚の傾き角（圧縮側）
θ_2	rad	水平力F_0による胴の第1脚つけ根部における局部傾き角
θ_3	rad	水平力F_0による第2脚の傾き角
π	－	円周率
α	－	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
σ_0	MPa	胴の一次一般膜応力の最大値
$\sigma_{0\phi}$	MPa	胴の周方向一次一般膜応力
σ_{0x}	MPa	胴の軸方向一次一般膜応力
σ_1	MPa	胴の一次応力の最大値
σ_2	MPa	胴の一次＋二次応力の最大値
σ_{11} ～ σ_{14}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力
σ_{15}，σ_{16}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力
σ_{21} ～ σ_{24}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力
σ_{25}，σ_{26}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力
σ_s	MPa	脚の組合せ応力の最大値
σ_t	MPa	支持脚基礎溶接部に生じる引張応力

表 5.1.3-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
吸気口の強度評価に用いる記号（4/6）

記号	単位	定義
σ_{s1}，σ_{s2}	MPa	運転時質量による脚の圧縮応力，曲げ応力
σ_{s3}，σ_{s4}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重による脚の圧縮応力，曲げ応力
σ_{s5} ～ σ_{s7}	MPa	風荷重（Ｚ方向）による脚の圧縮応力，曲げ応力
σ_{s8} ～ σ_{s10}	MPa	風荷重（Ｘ方向）による脚の圧縮応力，曲げ応力
σ_{sc}	MPa	脚の圧縮応力の和
σ_{sr}	MPa	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{st}	MPa	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{sx}	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の脚の組合せ応力
σ_{sz1}，σ_{sz2}	MPa	風荷重（Ｚ方向）が作用した場合の脚の組合せ応力
σ_{x}	MPa	互いに直交する垂直応力
σ_{y}	MPa	互いに直交する垂直応力
σ_{x1}	MPa	静水頭又は内圧による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi1}$	MPa	静水頭又は内圧による胴の周方向応力
σ_{x2}	MPa	運転時質量による胴の軸方向応力
σ_{x3}	MPa	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi3}$	MPa	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x4}	MPa	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi4}$	MPa	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力
σ_{x5}	MPa	応力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力
σ_{x7}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重による胴の軸方向応力
σ_{x8}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi8}$	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x9}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi9}$	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力
$\sigma_{\phi10}$，σ_{x10}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の局部応力
$\sigma_{\phi11}$，σ_{x11}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の局部応力

表 5.1.3-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
吸気口（5/6）

記号	単位	定義
σ_{x61}，σ_{x62}	MPa	風荷重(Ｚ方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi61}$，$\sigma_{\phi62}$	MPa	風荷重(Ｚ方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力
σ_{x71}，σ_{x72}	MPa	風荷重(Ｚ方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi71}$，$\sigma_{\phi72}$	MPa	風荷重(Ｚ方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x81}，σ_{x82}	MPa	風荷重（Ｚ方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi81}$，$\sigma_{\phi82}$	MPa	風荷重（Ｚ方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x91}，σ_{x92}	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi91}$，$\sigma_{\phi92}$	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力
σ_{x101}，σ_{x102}	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi101}$，$\sigma_{\phi102}$	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x111}，σ_{x112}	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi111}$，$\sigma_{\phi112}$	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{xx1}，σ_{xx2}	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和
σ_{xx3}，σ_{xx4}	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の胴の軸方向一次＋二次応力の和

表 5.1.3-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
吸気口（6/6）

記号	単位	定義
σ_{xz1} ～ σ_{xz4}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和
σ_{xz5} ～ σ_{xz8}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の軸方向一次＋二次応力の和
$\sigma_{\phi x1}$，$\sigma_{\phi x2}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の周方向一次応力の和
$\sigma_{\phi x3}$，$\sigma_{\phi x4}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の周方向一次＋二次応力の和
$\sigma_{\phi z1}$ ～ $\sigma_{\phi z4}$	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次応力の和
$\sigma_{\phi z5}$ ～ $\sigma_{\phi z8}$	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次＋二次応力の和
τ	MPa	支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力
τ_3	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力
τ_6	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力
τ_{c1}	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力
τ_{c4}	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力
τ_{L1}	MPa	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{L2}	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{L3}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{L5}	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{xy}	MPa	σ_x，σ_yの作用する面内のせん断応力

b.　計算モデル

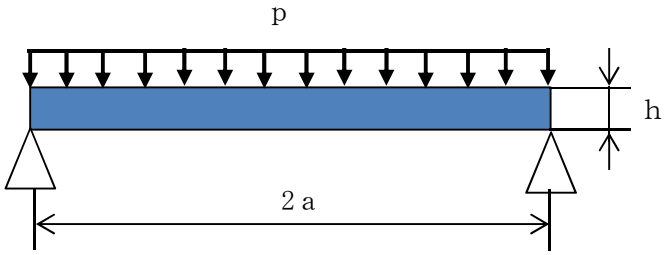


図 5.1.3-1　計算モデル図（平板）

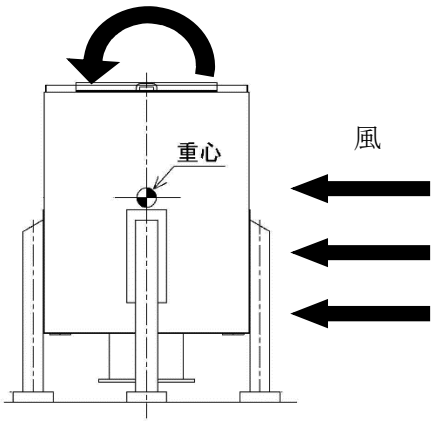


図 5.1.3-2　1 質点系モデル図

c.　強度評価方法

(a)　鉛直方向荷重

イ.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = W_2 + W_3$$

ここで,

$$W_2 = F_v' \cdot A_2$$

$$W_3 = F_s' \cdot A_2$$

(b)　平板の応力

鉛直荷重により平板に作用する最大曲げ応力σ_{max}は次による。

$$\sigma_{max} = 1.24 \frac{p + a^2}{h^2}$$

(c) 胴板及び支持脚

イ. 荷重の設定

水平力の釣合より

$2 \cdot P_1 + 2 \cdot Q = F_0$

転倒モーメントの釣合より

$2 \cdot M_1 - 2 \cdot M_3 + 2 \cdot R_1 \cdot r_m = F_0 (L_g - L)$

ただし,

$r_m = (D_i + t)/2$

第1脚の水平方向変位量 Δ_{x1}，傾き角 θ_1，鉛直方向変位量 Δ_{y1}は次による。

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

ここで

$$u = \frac{L_c}{2} - r_m$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s}$$

胴の半径方向局部変位量Δ_{r1}と局部傾き角 θ_2は次による。

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E}$$

$$\theta_2 = \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

ここで，β_Lは次による。

$$\beta_L = k_L \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

第2脚の傾き角 θ_0 と水平方向変位量 Δ_{x3} は，次による。

$$\theta_0 = -\frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{st}} - \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

第1脚と胴の傾き角の釣合より

$$\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0$$

第2脚のねじり角と局部傾き角は等しいことから

$$\theta_3 = \frac{(Q \cdot u - M_c)L}{G_s \cdot J_s} = \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E}$$

ここで，β_c は次による。

$$\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

脚と胴の水平方向変位の釣合より

$$\Delta_{x1} + \Delta_{r1} = \Delta_{x3} + u \cdot \theta_3$$

さらに鉛直方向変位の釣合より

$$\Delta_{y1} - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0$$

式を代入して

$$\frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s} - \frac{u(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{u \cdot P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{r_m \cdot M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{r_m \cdot Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} = 0$$

式を代入して

$$\frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_1^2 \cdot E} + \frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} = 0$$

式を変形して

$$\frac{u \cdot Q \cdot L}{G_s \cdot J_s} - \frac{M_c \cdot L}{G_s \cdot J_s} - \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} = 0$$

式を代入して

$$\frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E}$$
$$- \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{st}} + \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} - \frac{u \cdot K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} = 0$$

したがって，6 変数P_1，Q，R_1，M_1，M_3，M_cに対して上記式を連立させることにより方程式ができる。

(d) 胴の応力計算

イ. 静水頭又は内圧による応力

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口に静水頭，内圧は発生しないため，$\sigma_{\phi 1}$及びσ_{x1}は 0 となる。

ロ. 運転時質量及び降下火砕物と積雪荷重による応力

$$\sigma_{x2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi (D_i + t)\ t}$$

$$\sigma_{x7} = \frac{W_2 + W_3}{\pi (D_i + t)\ t}$$

ハ. 運転時質量による胴の脚つけ根部の応力

脚下端が固定の場合，軸力Rは次による。

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4}$$

脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形を図 5.1.3-3 に示す。

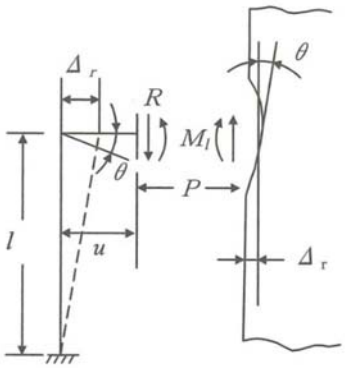


図 5.1.3-3　脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形

脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいことから

$$\Delta_r = \frac{-P \cdot L^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(R \cdot u - M_L)L^2}{2E_s \cdot I_{st}} = \frac{K_r \cdot P}{r_m \cdot E}$$

また，脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta = \frac{(R \cdot u - M_L)L}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{P \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} = \frac{K_L \cdot M_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

したがって

$$M_L = \frac{\left(\frac{L^3}{12E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}\right)\frac{m_0 \cdot g \cdot u \cdot L}{4E_s \cdot I_{st}}}{\left(\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}\right)\left(\frac{L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}\right) - \left(\frac{L^2}{2E_s \cdot I_{st}}\right)^2}$$

$$P = \frac{\frac{\frac{m_0 \cdot g}{4}u - M_L}{2E_s \cdot I_{st}}L^2}{\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}}$$

鉛直方向モーメントM_Lにより生じる胴の局部応力は，図 5.1.3-4 に示す 3 次元ＦＥＭモデルより求める(以下*を付記する)ことにより算定する。

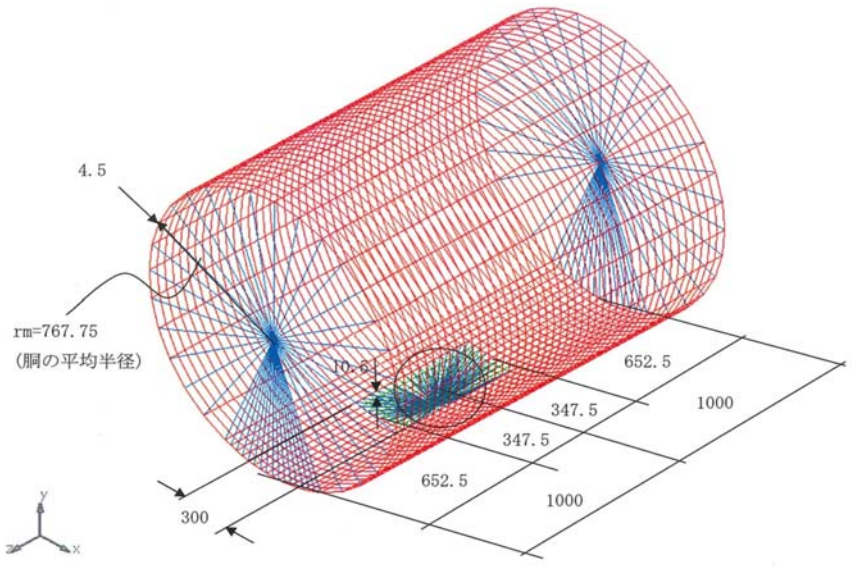


図 5.1.3-4　3 次元ＦＥＭモデル図

$$\sigma_{\phi 3}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_L/(r_m^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_L}{r_m^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L^{*}$$

$$\sigma_{x3}=\left[\frac{N_x}{M_L/(r_m^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_L}{r_m^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L^{*}$$

半径方向荷重Ｐにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 4}=\left[\frac{N_{\phi}}{P/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P}{r_m\cdot t}\right)$$

$$\sigma_{x4}=\left[\frac{N_x}{P/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P}{r_m\cdot t}\right)$$

反力Ｒによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L1}=\frac{R}{4C_2\cdot t}$$

ニ．　風荷重による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x5}=\frac{W_1(L_g-L)(D_i+2t)}{2I}$$

ホ．　Ｚ方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

（イ）　一次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 61}=\left[\frac{N_{\phi}}{P_1/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P_1}{r_m\cdot t}\right)$$

$$\sigma_{x61}=\left[\frac{N_x}{P_1/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P_1}{r_m\cdot t}\right)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 71}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_1/(r_m^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_1}{r_m^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L^{*}$$

$$\sigma_{x71}=\left[\frac{N_x}{M_1/(r_m^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_1}{r_m^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L^{*}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 81}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_c/(r_m{}^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_c}{r_m{}^2\cdot t\cdot\beta_c}\right)C_c{}^{*}$$

$$\sigma_{x81}=\left[\frac{N_x}{M_c/(r_m{}^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_c}{r_m{}^2\cdot t\cdot\beta_c}\right)C_c{}^{*}$$

ここで，β_cは次式による。

$$\beta_c=\sqrt[3]{\beta_1{}^2\cdot\beta_2}$$

周方向せん断力Qによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{c1}=\frac{Q}{4C_1\cdot t}$$

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L2}=\frac{R_1}{4C_2\cdot t}$$

ねじりモーメントM_3により生じる胴の局部せん断応力は，次による。

$$\tau_3=\frac{M_3}{2\pi\cdot C_1{}^2\cdot t}$$

（ロ） 二次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 62}=\left[\frac{M_{\phi}}{P_1}\right]^{*}\left(\frac{6P_1}{t^2}\right)$$

$$\sigma_{x62}=\left[\frac{M_x}{P_1}\right]^{*}\left(\frac{6P_1}{t^2}\right)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 72}=\left[\frac{M_{\phi}}{M_1/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_1}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_L}\right)$$

$$\sigma_{x72}=\left[\frac{M_x}{M_1/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_1}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_L}\right)$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 82}=\left[\frac{M_{\phi}}{M_c/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_c}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_c}\right)$$

$$\sigma_{x82}=\left[\frac{M_x}{M_c/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_c}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_c}\right)$$

ヘ.　X方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

（イ）　一次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 91}=\sigma_{\phi 61}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x91}=\sigma_{x61}/\sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 101}=\sigma_{\phi 71}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x101}=\sigma_{x71}/\sqrt{2}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 111}=\sigma_{\phi 81}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x111}=\sigma_{x81}/\sqrt{2}$$

周方向せん断力 Qによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{c4}=\tau_{c1}/\sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L5}=\tau_{L2}/\sqrt{2}$$

ねじりモーメントM_3により生じる胴の局部せん断応力は，次による。

$$\tau_6=\tau_3/\sqrt{2}$$

（ロ） 二次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 92}=\sigma_{\phi 62}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x92}=\sigma_{x62}/\sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 102}=\sigma_{\phi 72}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x102}=\sigma_{x72}/\sqrt{2}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 112}=\sigma_{\phi 82}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x112}=\sigma_{x82}/\sqrt{2}$$

ト． 降下火砕物と積雪荷重による胴の脚つけ根部の応力

脚下端を固定する場合の軸力R_2，胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメントM_{L2}及び半径方向荷重P_2は，次による。

$$R_2=\frac{W_2+W_3}{4}$$

$$M_{L2}=\frac{\left(\frac{L^3}{12E_s\cdot I_{st}}+\frac{L}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right)\frac{R_2\cdot u\cdot L}{E_s\cdot I_{st}}}{\left(\frac{L^3}{3E_s\cdot I_{st}}+\frac{L}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right)\left(\frac{L}{E_s\cdot I_{st}}+\frac{K_L}{r_m^3\cdot\beta_L^2\cdot E}\right)-\left(\frac{L^2}{2E_s\cdot I_{st}}\right)^2}$$

$$P_2=\frac{\frac{R_2\cdot u-M_{L2}}{2E_s\cdot I_{st}}L^2}{\frac{L^3}{3E_s\cdot I_{st}}+\frac{L}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}}$$

（イ） 一次応力

鉛直方向曲げモーメント M_{L2}により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 8}=\left[\frac{N_\phi}{M_{L2}/(r_m^2\cdot\beta)}\right]^*\left(\frac{M_{L2}}{r_m^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L$$

$$\sigma_{x8}=\left[\frac{N_x}{M_{L2}/(r_m^2\cdot\beta)}\right]^*\left(\frac{M_{L2}}{r_m^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L$$

半径方向荷重P_2により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 9}=\left[\frac{N_{\phi}}{P_2/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P_2}{r_m\cdot t}\right)$$

$$\sigma_{x 9}=\left[\frac{N_{x}}{P_2/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P_2}{r_m\cdot t}\right)$$

（ロ） 二次応力

鉛直方向曲げモーメントM_{L2}により生じる胴の局部応力は次による。

$$\sigma_{\phi 10}=\left[\frac{M_{\phi}}{M_{L2}/(r_m\cdot \beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_{L2}}{r_m\cdot t^2\cdot \beta_L}\right)$$

$$\sigma_{x 10}=\left[\frac{M_{x}}{M_{L2}/(r_m\cdot \beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_{L2}}{r_m\cdot t^2\cdot \beta_L}\right)$$

半径方向荷重P_2により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 11}=\left[\frac{M_{\phi}}{P_2}\right]^{*}\left(\frac{6P_2}{t^2}\right)$$

$$\sigma_{x 11}=\left[\frac{M_{x}}{P_2}\right]^{*}\left(\frac{6P_2}{t^2}\right)$$

せん断応力は，次による。

$$\tau_{L3}=\frac{R_2}{4C_2\cdot t}$$

チ. 組合せ応力

イ.～ト.項によって算出される脚つけ根部に生じる胴の応力は，次により組み合わせる。

（イ） 一次一般膜応力

$\sigma_{0\Phi}=\sigma_{\Phi 1}$

$\sigma_{0X}=\sigma_{X1}+\sigma_{X2}+\sigma_{X5}+\sigma_{X7}$

$\sigma_{0}=max\left[\sigma_{0\Phi}\cdot\sigma_{0X}\right]$

（ロ） 一次応力（膜＋曲げ）

胴の評価点を図 5.1.3-5 に示す。

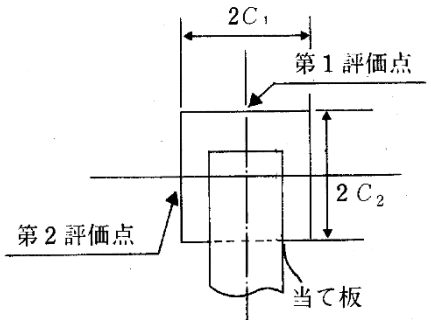


図 5.1.3-5　胴の評価点

【Z方向荷重が作用した場合】

・第 1 脚つけ根部

（第 1 評価点）

$$\sigma_{\phi z1}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 71}$$

$$\sigma_{xz1}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x7}+\sigma_{x8}+\sigma_{x9}+\sigma_{x61}+\sigma_{x71}$$

$$\sigma_{11}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z1}+\sigma_{xz1})+\sqrt{(\sigma_{\phi z1}-\sigma_{xz1})^2}\right\}$$

（第 2 評価点）

$$\sigma_{\phi z2}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 61}$$

$$\sigma_{xz2}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x7}+\sigma_{x9}+\sigma_{x61}$$

$$\sigma_{12}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z2}+\sigma_{xz2})+\sqrt{(\sigma_{\phi z2}-\sigma_{xz2})^2+4(\tau_{L1}+\tau_{L2}+\tau_{L3})^2}\right\}$$

・第 2 脚つけ根部

（第 1 評価点）

$$\sigma_{\phi z3}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}$$

$$\sigma_{xz3}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}+\sigma_{x7}+\sigma_{x8}+\sigma_{x9}$$

$$\sigma_{13}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z3}+\sigma_{xz3})+\sqrt{(\sigma_{\phi z3}-\sigma_{xz3})^2+4(\tau_{c1}+\tau_{3})^2}\right\}$$

（第２評価点）

$$\sigma_{\phi z 4}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 81}$$

$$\sigma_{x z 4}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 7}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 81}$$

$$\sigma_{14}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z 4}+\sigma_{x z 4})+\sqrt{(\sigma_{\phi z 4}-\sigma_{x z 4})^2+4(\tau_{L 1}+\tau_3+\tau_{L 3})^2}\right\}$$

【Ｘ方向荷重及び降下火砕物荷重，積雪荷重が作用した場合】

（第１評価点）

$$\sigma_{\phi x 1}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 101}$$

$$\sigma_{x x 1}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 3}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 7}+\sigma_{x 8}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 91}+\sigma_{x 101}$$

$$\sigma_{15}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi x 1}+\sigma_{x x 1})+\sqrt{(\sigma_{\phi x 1}-\sigma_{x x 1})^2+4(\tau_{c 4}+\tau_6)^2}\right\}$$

（第２評価点）

$$\sigma_{\phi x 2}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 111}$$

$$\sigma_{x x 2}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 7}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 91}+\sigma_{x 111}$$

$$\sigma_{16}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi x 2}+\sigma_{x x 2})+\sqrt{(\sigma_{\phi x 2}-\sigma_{x x 2})^2+4(\tau_{L 1}+\tau_{L 5}+\tau_6+\tau_{L 3})^2}\right\}$$

$$\sigma_1=\max[\sigma_{11},\ \sigma_{12},\ \sigma_{13},\ \sigma_{14},\ \sigma_{15},\ \sigma_{16}]$$

（ハ）　組合せ一次＋二次応力

【Ｚ方向荷重及び降下火砕物荷重，積雪荷重が作用した場合】

・第１脚つけ根部

（第１評価点）

$$\sigma_{\phi z 5}=\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 10}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 62}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72}$$

$$\sigma_{x z 5}=\sigma_{x 7}+\sigma_{x 8}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 10}+\sigma_{x 11}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 61}+\sigma_{x 62}+\sigma_{x 71}+\sigma_{x 72}$$

$$\sigma_{21}=\sigma_{\phi z 5}+\sigma_{x z 5}+\sqrt{(\sigma_{\phi z 5}-\sigma_{x z 5})^2}$$

（第２評価点）

$$\sigma_{\phi z 6}=\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 62}$$

$$\sigma_{x z 6}=\sigma_{x 7}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 11}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 61}+\sigma_{x 62}$$

$$\sigma_{22}=\sigma_{\phi z 6}+\sigma_{x z 6}+\sqrt{(\sigma_{\phi z 6}-\sigma_{x z 6})^2+4(\tau_{L 2}+\tau_{L 3})^2}$$

・第 2 脚つけ根部

（第 1 評価点）

$$\sigma_{\phi z 7} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11}$$

$$\sigma_{x z 7} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11}$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{\phi z 7} + \sigma_{x z 7} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 7} - \sigma_{x z 7})^2 + 4(\tau_{c1} + \tau_3)^2}$$

（第 2 評価点）

$$\sigma_{\phi z 8} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 81} + \sigma_{\phi 82}$$

$$\sigma_{x z 8} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 81} + \sigma_{x 82}$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{\phi z 8} + \sigma_{x z 8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 8} - \sigma_{x z 8})^2 + 4(\tau_3 + \tau_{L3})^2}$$

【X方向荷重が作用した場合】

（第 1 評価点）

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 102}$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 102}$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4(\tau_{c4} + \tau_6)^2}$$

（第 2 評価点）

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 112}$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 112}$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4(\tau_{L5} + \tau_6 + \tau_{L3})^2}$$

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}]$$

(e) 脚の応力計算

イ. 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R}{A_s}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\max\left[\left|R \cdot u - M_L - P \cdot L\right|, \left|R \cdot u - M_L\right|\right]}{Z_{st}}$$

ロ. 降下火砕物荷重，積雪荷重による応力

$$\sigma_{s3} = \frac{R_2}{A_s}$$

$$\sigma_{s4} = \frac{\max\left[\left|R_2 \cdot u - M_{L2} - P_2 \cdot L\right|, \left|R_2 \cdot u - M_{L2}\right|\right]}{Z_{st}}$$

ハ. 風荷重（Z方向）による応力

（イ） 第1脚

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s}$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\max\left[\left|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L\right|, \left|R_1 \cdot u - M_1\right|\right]}{Z_{st}}$$

（ロ） 第2脚

$$\sigma_{s7} = \frac{\max\left[\left|Q \cdot L - M_3\right|, \left|M_3\right|\right]}{Z_{sr}}$$

（ハ） X方向荷重による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s}$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\max\left[\left|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L\right|, \left|R_1 \cdot u - M_1\right|\right]}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}}$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\max\left[\left|Q \cdot L - M_3\right|, \left|M_3\right|\right]}{\sqrt{2} \cdot Z_{sr}}$$

ニ. 組合せ応力

脚の最大応力は，下記式による。

（イ） Z方向荷重及び降下火砕物荷重，積雪荷重が作用した場合

・ 第1脚

$$\sigma_{sz1}=\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s5}+\sigma_{s6}$$

・ 第2脚

$$\sigma_{sz2}=\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s7}$$

（ロ） X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sx}=\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s8}+\sigma_{s9}+\sigma_{s10}$$

$$\sigma_{s}=\max\left[\sigma_{sz1},\ \sigma_{sz2},\ \sigma_{sx}\right]$$

ホ. 組合せ圧縮応力

（イ） Z方向荷重が作用した場合

・ 第1脚

$$\sigma_{sc}=\sigma_{s1}+\sigma_{s3}+\sigma_{s5}$$

$$\sigma_{st}=\sigma_{s2}+\sigma_{s4}+\sigma_{s6}$$

$$\sigma_{sr}=0$$

・ 第2脚

$$\sigma_{sc}=\sigma_{s1}+\sigma_{s3}$$

$$\sigma_{st}=\sigma_{s2}+\sigma_{s4}$$

$$\sigma_{sr}=\sigma_{s7}$$

（ロ） X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sc}=\sigma_{s1}+\sigma_{s3}+\sigma_{s8}$$

$$\sigma_{st}=\sigma_{s2}+\sigma_{s4}+\sigma_{s9}$$

$$\sigma_{sr}=\sigma_{s10}$$

圧縮と曲げの組合せについて，座屈評価用の式を次式より求める。

$$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}}+\frac{\sigma_{st}}{f_{bt}}+\frac{\sigma_{sc}}{f_{c}}\leqq 1$$

(f)　支持脚基礎溶接部の応力計算

イ．　引張応力の算出

風圧力による荷重W_1によるモーメントMにより，2 本の支持脚には吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重Tが作用する。

モーメントの釣り合いを考えると，

$$M=W_1 \cdot L_g+(m_0 \cdot g+F_V)\ L_H=2 \cdot T \cdot L_1$$

よって，吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重Tは以下のようになる。

$$T=\frac{W_1 \cdot L_g+(m_0 \cdot g+F_V)\ L_H}{2L_1}$$

吸気口の支持脚基礎溶接部に生じる引張応力σ_tは以下のようになる。

$$\sigma_t=\frac{T}{A_w}=\frac{W_1 \cdot L_g+(m_0 \cdot g+F_V)\ L_H}{2L_1 \cdot A_W}$$

ロ．　せん断応力の算出

吸気口の支持脚基礎溶接部に作用するせん断荷重Qは以下のようになる。

$$Q_1=\frac{W_1}{4}$$

よって，吸気口の支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力τは以下のようになる。

$$\tau=\frac{Q_1}{A_W}=\frac{W_1}{4A_w}$$

ハ．　組合せ応力の算出

$$\sigma=\sqrt{\sigma_t^2+3\tau^2}$$

5.1.4　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン

(1)　評価条件

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　降下火砕物が堆積する吐出フード天板に対し，等分布荷重が作用する平板として機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。計算モデル図を図 5.1.4-1 に示す。

b.　風荷重による影響が大きな吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトの強度計算モデルは，1 質点系モデルとし，計算モデルが類似しているＪＥＡＧ４６０１の横形ポンプの計算方法を参考に評価を行う。なお，1 質点系モデルの強度計算において，評価上高さの 1/2 又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。計算モデル図を図 5.1.4-2 に示す。

c.　鉛直荷重によって一様な応力が発生するケーシングは，機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。

d.　計算に用いる寸法は公称値を使用する。

e.　降下火砕物等堆積による鉛直方向荷重については，吐出フード天板の面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

f.　水平方向と鉛直方向のモーメントの組合せは，安全側に絶対和の評価とする。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.1.4-1 に示す。

表 5.1.4-1　評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
吐出フード天板	曲げ
ケーシング	圧縮
吐出フード取付ボルト	引張，せん断，組合せ
基礎ボルト	引張，せん断，組合せ

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの強度評価に用いる記号を表 5.1.4-2 に示す。

表 5.1.4-2　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	天板の短辺
A_2	m^2	降下火砕物の堆積面積
A_b	mm^2	ボルトの軸断面積
B_1	mm	ケーシング外径
B_2	mm	ケーシング内径
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_b	N	ボルトに対する引張力
F_d	N	常時作用する荷重
F_i	N	各ボルトに作用する引張力
F_n	N	ボルトに作用する最大引張力
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	取付面から荷重作用点までの距離
h_t	mm	天板厚さ
L_1～L_7	mm	支点と評価ボルト間の距離
L_i	mm	各ボルト間の距離
L_n	mm	各ボルト間のうち最長距離
M	N･mm	ファンに作用するモーメント
m	kg	質量
N	－	ボルトの本数
p	N/mm^2	天板に作用する等分布荷重
Q_b	N	ボルトに対するせん断力
S	mm^2	ケーシングの断面積
β	－	天板の最大応力の係数（機械工学便覧から算出）
π	－	円周率
σ_b	MPa	吐出フード天板に生じる曲げ応力
σ_c	MPa	ケーシングに生じる圧縮応力
σ_t	MPa	ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	ボルトに生じるせん断応力

b.　計算モデル

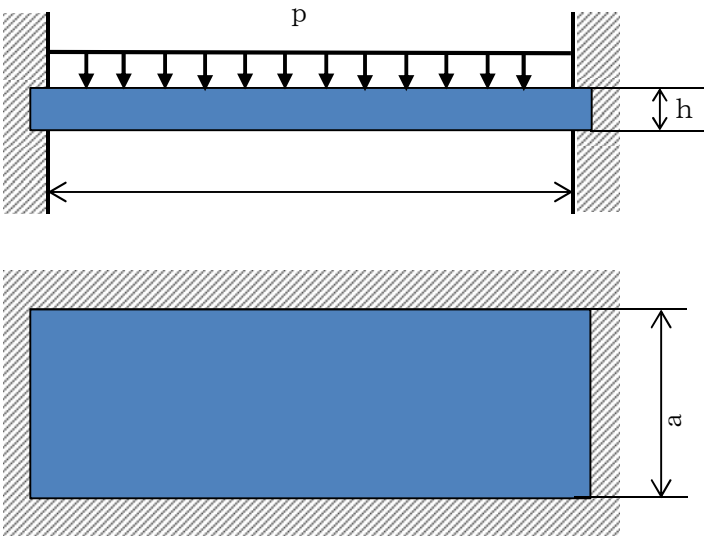


図 5.1.4-1　等分布荷重による計算モデル図

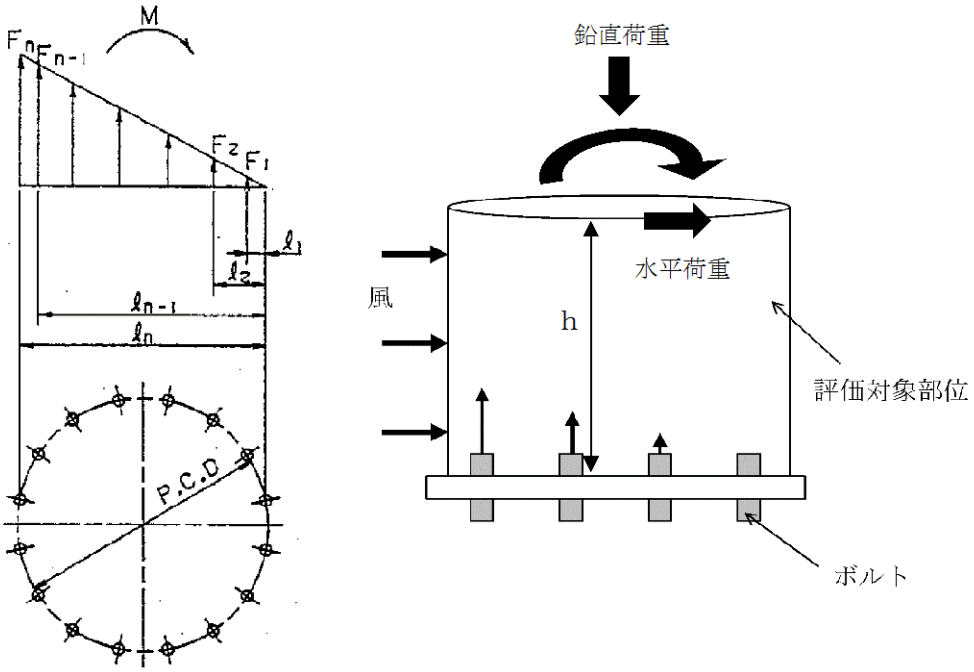


図 5.1.4-2　1 質点系モデル図

c. 応力計算

(a) 鉛直方向荷重

イ. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F'_v \cdot A_2$$

(b) 吐出フード天板部に生じる応力

イ. 曲げ応力

吐出フード天板部に生じる曲げ応力σ_bは次式より算出される。

$$\sigma_b = \beta \cdot \frac{p \cdot a^2}{h_t^2}$$

(c) ケーシングに生じる応力

イ. 圧縮応力

ケーシングに生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + F_d}{S}$$

ここで,

$$F_d = m \cdot g$$

$$S = \frac{\pi}{4}\left(B_1^2 - B_2^2\right)$$

ケーシングの断面図を図 5.1.4-3 に示す。

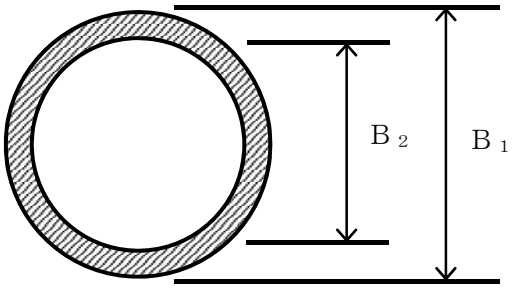


図 5.1.4-3 ケーシングの断面図

(d)　吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに生じる応力

イ．　引張応力

吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに生じる引張応力σ_tは次式より算出される。

（イ）　引張力

$$M=2\sum_{i=1}^{n}F_i\cdot L_i \quad \cdots \quad (5.1.4\text{-}1)$$

$$\frac{F_i}{L_i}=一定 \quad \cdots \quad (5.1.4\text{-}2)$$

(5.1.4-1)　(5.1.4-2) 式より，

$$F_n=\frac{M}{2\sum_{i=1}^{n}L_i^2}L_n$$

ここで，Mは以下による。

$$M=W\cdot h+(m\cdot g+F_V)\cdot\frac{L_n}{2}$$

（ロ）　引張応力

$$\sigma_t=\frac{F_n}{A_b}$$

ロ．　せん断応力

吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに生じるせん断応力τは次式より算出される。ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

（イ）　せん断力

$$Q_b=W$$

（ロ）　せん断応力

$$\tau=\frac{Q_b}{A_b\cdot N}$$

5.2　建屋

(1)　評価条件

建屋の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　屋根は，応力解析モデルを用いて評価を行う。

b.　耐震壁及び鉄骨架構は，質点系解析モデルを用いて評価を行う。

c.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。

d.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重として 7565 N/m^2，風荷重については基準風速 30 m/s を考慮する。

e.　風荷重の算出は，建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき実施し，受圧面積算定において，隣接する建屋の遮断効果による面積の低減は考慮しない。

f.　水平方向の風荷重が作用した場合，屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため，屋根面の評価においては，保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。

g.　質点系解析モデルの復元力特性の設定においては，鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第 1 折れ点の増大が見込まれるため，耐震壁及び鉄骨架構の評価においては，保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-1 に示す。

表 5.2-1　評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
屋根	曲げ，せん断，圧縮，引張
耐震壁	変形
鉄骨架構	変形

(3)　強度評価方法

a.　記号の定義

建屋の強度評価に用いる記号を表 5.2-2 に示す。

表 5.2-2　建屋の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_d	N/m^2	固定荷重
F_l	N/m^2	積載荷重
F_s	N/m^2	積雪荷重
F_{v0}	N/m^2	降下火砕物堆積による鉛直荷重
W	N	風荷重

b. 屋根の応力計算

応力解析モデルを用いて，屋根に作用する固定荷重，積載荷重，積雪荷重，降下火砕物堆積等による鉛直荷重により屋根に発生する応力を求める。

c. 耐震壁の応答計算

質点系解析モデルを用いて，風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

d. 鉄骨架構の応答計算

質点系解析モデルを用いて，風荷重により鉄骨架構に発生する層間変形角を求める。

6. 適用規格

Ⅴ-1-1-2-4-1 においては，降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち，各対象施設の強度評価に用いる規格，基準等を以下に示す。

(1) 建築基準法及び同施行令
(2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）
(3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）
(4) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999）
(5) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005）
(6) 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004）
(7) 鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）
(8) 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）
(9) 原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）
(10) 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）
(11) 発電用原子力設備規格　設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（(社)日本機械学会）
(12) 2015年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）
(13) 新版機械工学便覧（1987年　日本機械学会編）

（参考文献）

・ 鉄骨Ｘ型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol.37B，pp.303-316.1991（谷口元，加藤勉ほか）
・ 原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造径論文集　第76巻　第661号，pp571-580，2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）
・建築構造設計基準の資料（国土交通省　平成27年度）

Ⅴ-3-別添 2-1-1　残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 4
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 8
3.3 荷重及び荷重の組合せ 9
3.4 許容限界 12
3.5 評価方法 13
4. 評価条件 19
5. 強度評価結果 20

1. 概要

本資料は，添付書類「V-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，残留熱除去系海水系ポンプが降下火砕物等堆積時においても，送水機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

残留熱除去系海水系ポンプは，添付書類「V-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，残留熱除去系海水系ポンプの「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

残留熱除去系海水系ポンプは，添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外の海水ポンプ室に設置する。海水ポンプ室の位置図を図 2-1 に示す。

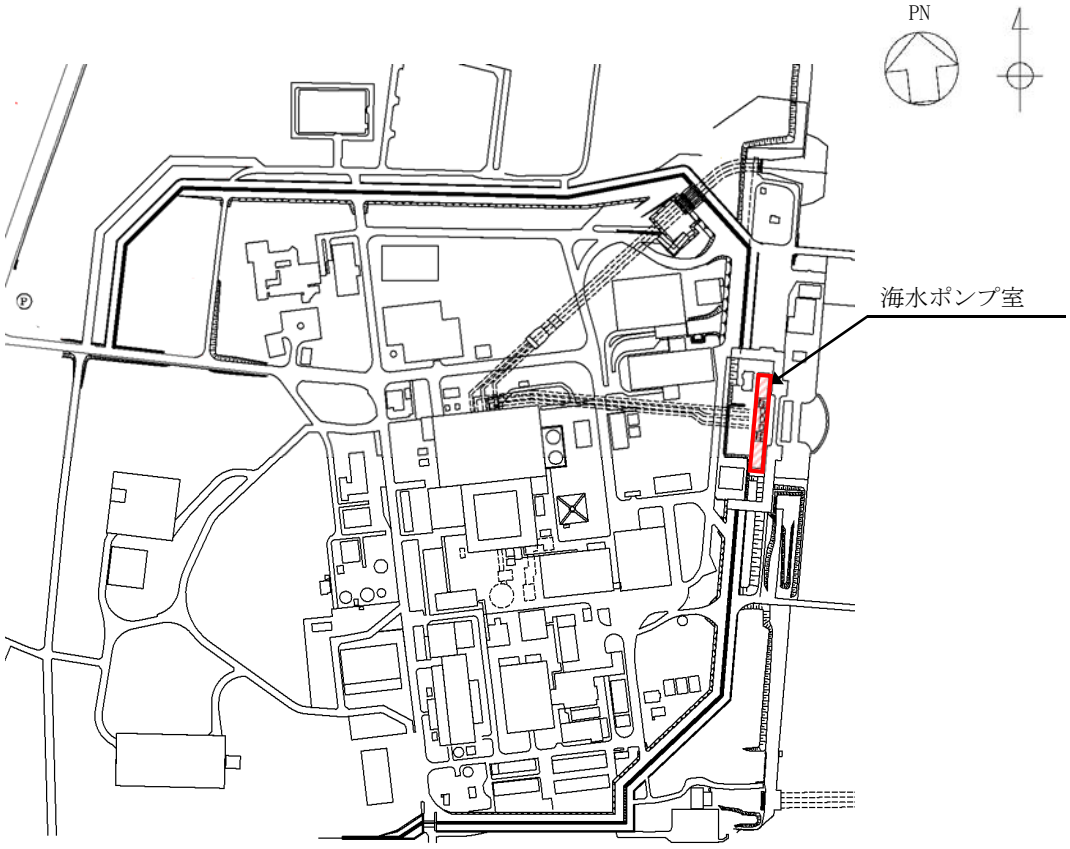


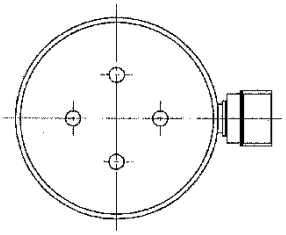
図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2　構造概要

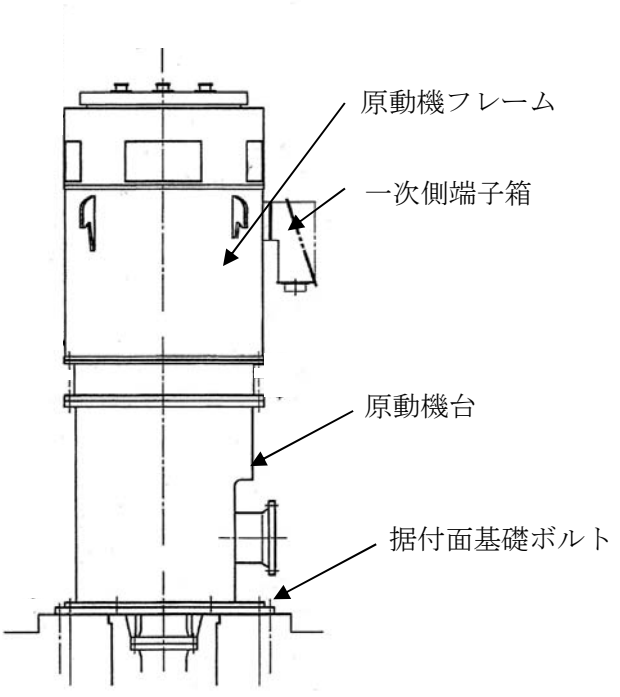
残留熱除去系海水系ポンプは，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

残留熱除去系海水系ポンプは，ポンプ据付面から原動機台までのポンプ部と，原動機台より上部の原動機部からなる立形ポンプであり，同一設計の残留熱除去系海水系ポンプ4台を設置している。降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のポンプの概要図を図2-2に示す。

残留熱除去系海水系ポンプ原動機の形状は円筒形を基本としたフレームに，一次側端子箱が付加された形態であり，ポンプのスラスト荷重は全て原動機フレーム及び原動機台に作用する構造とする。残留熱除去系海水系ポンプが風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図を図2-3，降下火砕物等が残留熱除去系海水系ポンプに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-4に示す。

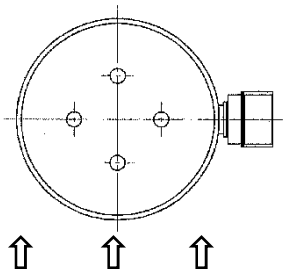


(a) 上面図



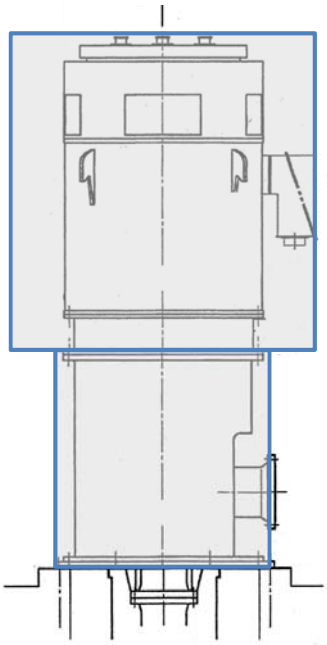
(b) 側面図

図 2-2　残留熱除去系海水系ポンプの概要図



風（台風）による水平荷重の方向

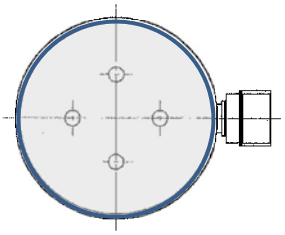
(a) 上面図



：風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面

(b) 側面図

図 2-3　風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図



：降下火砕物等

図 2-4　降下火砕物等の堆積状態図

2.3　評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，評価対象部位に作用する応力が，許容限界に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価フローを図2-5に示す。残留熱除去系海水系ポンプの強度評価においては，その構造を踏まえ，降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については，ポンプ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また，風（台風）による水平荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に示す評価式を用いる。残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$とする。

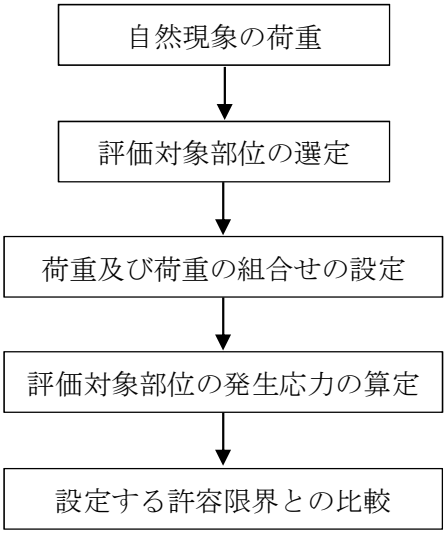


図2-5　残留熱除去系海水系ポンプの強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　建築基準法及び同施行令

(2)　茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）

(3)　建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）

(4)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補 - 1984（（社）日本電気協会）

(5)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

(6)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991追補版（（社）日本電気協会）

(7)　発電用原子力設備規格 設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）

(8)　2015年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）

(9)　新版機械工学便覧（1987年　日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A_1	m^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_2	m^2	降下火砕物等の堆積面積
A_b	mm^2	ボルトの断面積
B_1	mm	原動機台外径
B_2	mm	原動機台内径
B_3	mm	原動機フレーム外径
B_4	mm	原動機フレーム内径
C	－	風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
E’	－	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	－	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F	N	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される値
F_d	N	原動機自重による軸方向荷重
F_p	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
F_i	N	各ボルトに作用する引張力
F_n	N	ボルトに作用する最大引張力
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v’	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_b	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容曲げ応力
f_c	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容圧縮応力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度

表 3-1　残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
H	mm	ポンプ高さ（全高）
H_s	N	原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
h	mm	取付面から荷重作用点までの距離
L_i	mm	ボルト間の距離
L_n	mm	各ボルト間距離のうち最長距離
M	N・mm	評価対象部位に作用するモーメント
M_1	N・mm	水平荷重により原動機フレームに作用するモーメント
M_2	N・mm	鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント
m	kg	原動機の質量
N	－	ボルトの本数
P	kg	ポンプスラスト荷重
q	N/m^2	速度圧
Q_b	N	ボルトに対するせん断力
S_1	mm^2	原動機台の断面積
S_2	mm^2	原動機フレームの断面積
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
V_D	m/s	基準風速
W	N	風（台風）による水平荷重
Z	mm^3	断面係数
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
π	－	円周率
σ_c	MPa	評価対象部位に生じる圧縮応力
σ_b	MPa	原動機フレームに生じる曲げ応力
σ_t	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
α	-	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
τ	MPa	せん断応力

3.2　評価対象部位

残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，原動機台，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトとする。

評価対象部位は，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，最も多く降下火砕物が堆積する原動機上部を介して支持している原動機フレーム及び原動機台に作用する。また，風（台風）による水平荷重は，原動機フレーム及び原動機台に作用し，原動機台を介して据付面基礎ボルトに作用する。さらに，ポンプのスラスト荷重は全て原動機フレーム及び原動機台に作用する。

このことから，降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては，原動機フレーム及び原動機台を評価対象部位とする。また，風（台風）による水平荷重に対しては，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトを評価対象部位とする。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

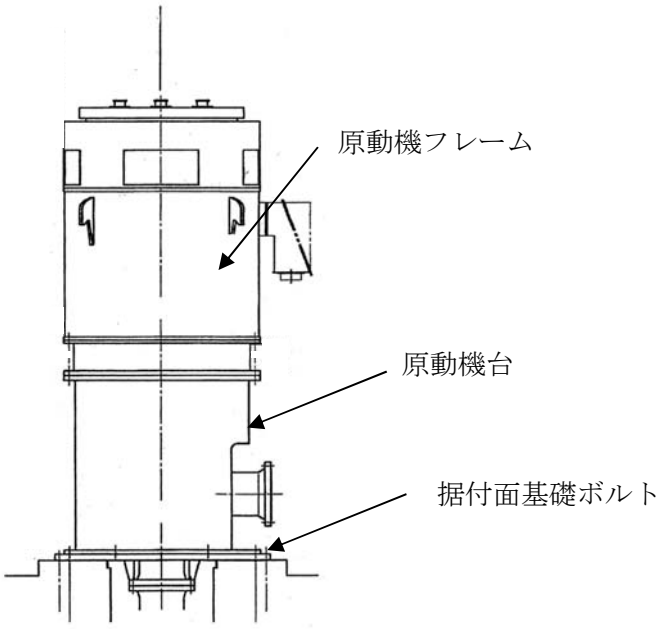


図 3-1　残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は，原動機の自重を考慮する。

b.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v')

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，7565 N/m^{2}とする。

c.　風（台風）による水平荷重（W）

風（台風）による水平荷重は，基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.　水平荷重」に示す式に従い，算出する。全高Hが 5 m 以下であるため，HZ_b以下の場合の式を用いる。

評価に用いる複合荷重は原動機フレーム，原動機台及び一次側端子箱に風（台風）による水平荷重を受けた際の複合荷重とする。なお，複合荷重は，原動機フレーム，原動機台及び一次側端子箱に対する各々の風力係数を考慮した風（台風）による水平荷重を包含するような面積を設定し算出する。

風（台風）による水平荷重によるWは以下のようにして求める。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図 3-2 に示す。

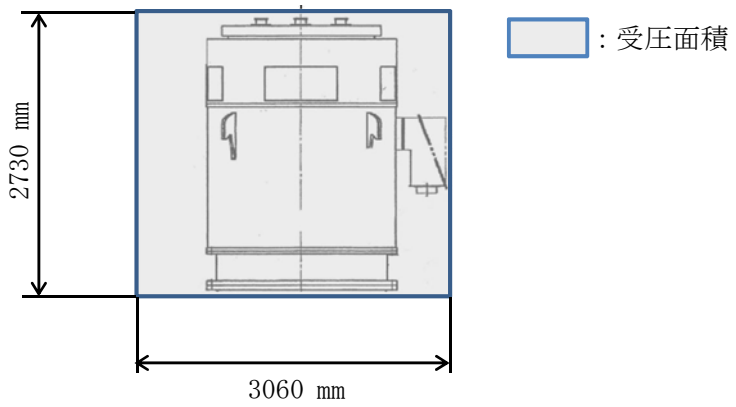
$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

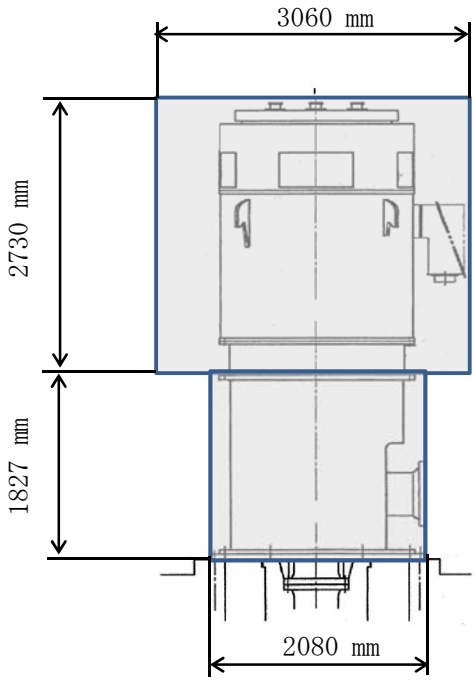
$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^{\alpha}$$



(a)　原動機フレーム評価



(b)　基礎ボルト評価

図 3-2　風（台風）による水平荷重の受圧面積

d.　運転時の状態で作用する荷重（F_p）

運転時の状態で作用する荷重は，鉛直下向きに働くポンプスラスト荷重を考慮する。

(2)　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

残留熱除去系海水系ポンプには，自重，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風（台風）による水平荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2　荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
残留熱除去系 海水系ポンプ	原動機台	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③ポンプスラスト荷重
	原動機フレーム	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重 ④ポンプスラスト荷重
	据付面基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重 ④ポンプスラスト荷重

3.4　許容限界

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，ＪＥＡＧ４６０１に基づき許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓの許容応力を用いる。

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓから算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界を表 3-3，許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3 残留熱除去系海水系ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
原動機台	Ⅲ$_{A}$Ｓ	一次応力	圧縮	1.5ｆ$_{c}$
原動機フレーム	Ⅲ$_{A}$Ｓ	一次応力	曲げ	1.5ｆ$_{b}$
			圧縮	1.5ｆ$_{c}$
据付面基礎ボルト	Ⅲ$_{A}$Ｓ	一次応力	引張	1.5ｆ$_{t}$
			せん断	1.5ｆ$_{s}$
			組合せ	Min｛1.5ｆ$_{t}$，（2.1ｆ$_{t}$－1.6τ）｝

表 3-4　残留熱除去系海水系ポンプの許容応力

評価対象部位	材料	温度条件（℃）	Ｓ$_{y}$（MPa）	Ｓ$_{u}$（MPa）	Ｆ（MPa）	1.5ｆ$_{c}$（MPa）	1.5ｆ$_{b}$（MPa）	1.5ｆ$_{t}$（MPa）	1.5ｆ$_{s}$（MPa）
原動機台	SS400	50*1	231	394	231	229	－	－	－
原動機フレーム	SS400	60*2	237	389	237	235	273	－	－
据付面基礎ボルト	S22C	50*1	260	430	260	－	－	195	150

注記　＊1：周囲環境温度

＊2：最高使用温度

3.5　評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの応力評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(1)　評価モデル

降下火砕物等堆積による鉛直荷重，ポンプスラスト荷重（鉛直荷重）及び自重（鉛直荷重）並びに風（台風）による水平荷重に対する，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトの構造健全性を 1 質点系モデルとして計算を行う。ここで，荷重の作用点は評価上高さの 1/2 とする。残留熱除去系海水系ポンプの 1 質点系モデル図を図 3-3 及び図 3-4 に示す。

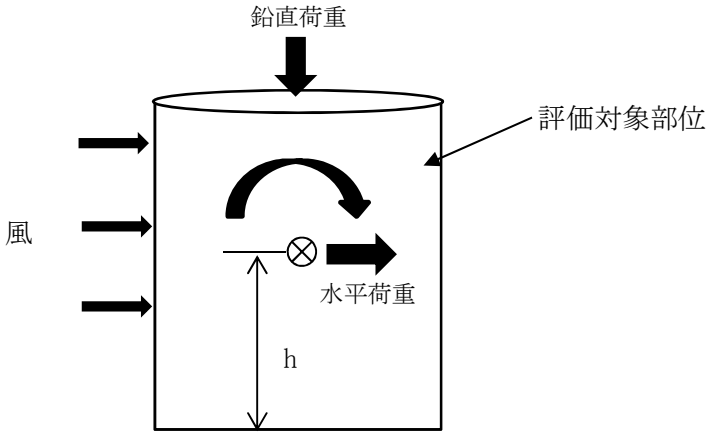


図 3-3　1 質点系モデル図（原動機フレーム）

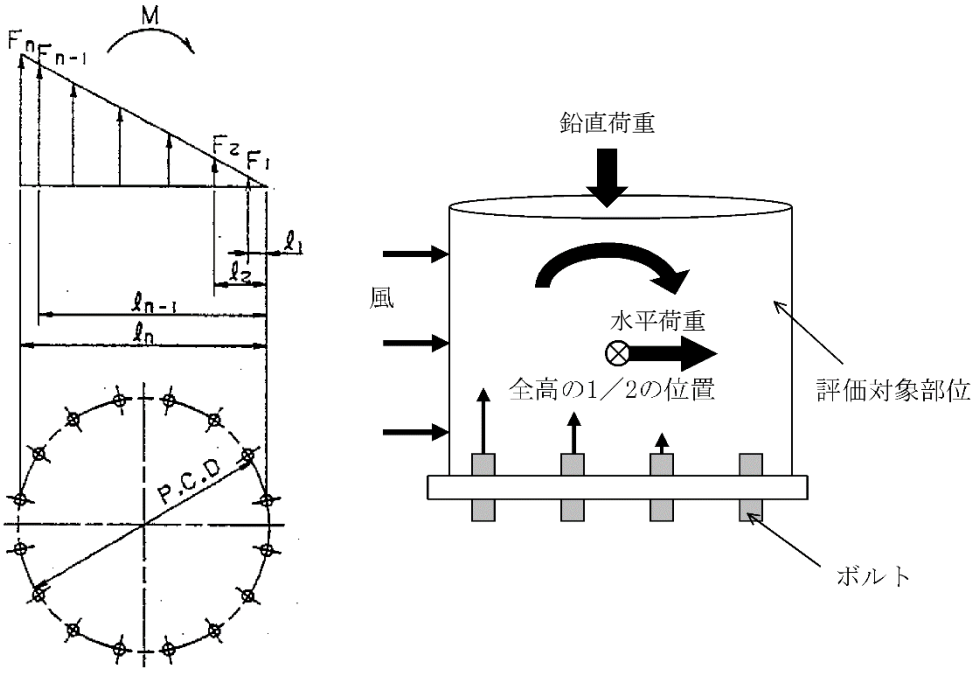


図 3-4　1 質点系モデル図（据付面基礎ボルト）

(2)　評価方法

a.　鉛直方向荷重

(a)　降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の受圧面積を図 3-5 に示す。保守的に基礎部面積分の降下火砕物等が原動機に堆積すると仮定し，基礎部面積を受圧面積とする。

なお，基礎部面積に包含されない一次側端子箱の一部については，堆積面積の保守性に包含される。

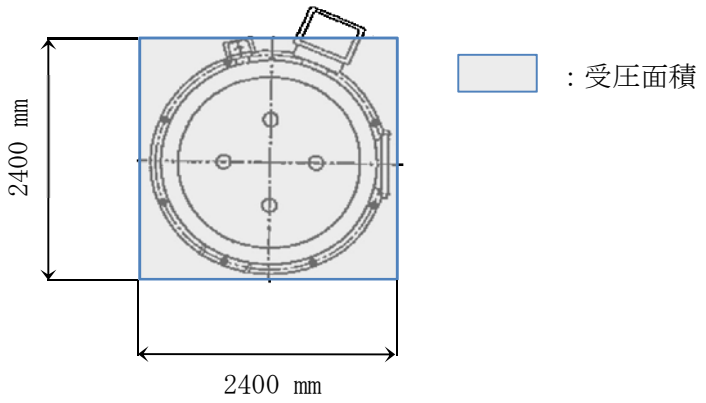


図 3-5　鉛直荷重の受圧面積

(b)　原動機台，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトに作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重

$$H_s = F_d + F_p$$

ここで，

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

b.　応力評価

(a)　原動機台に生じる応力

イ．　圧縮応力

原動機台に生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + H_s}{S_1}$$

ここで,

$$S_1 = \frac{\pi}{4}\left(B_1^{\,2} - B_2^{\,2}\right)$$

原動機台の断面図を図 3-6 に示す。

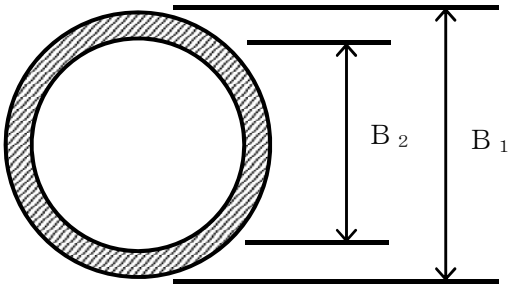


図 3-6　原動機台の断面図

(b)　原動機フレームに生じる応力

イ．　曲げ応力

原動機フレームに生じる曲げ応力σ_bは次式より算出される。

（イ）　風（台風）による水平荷重により原動機フレームに作用するモーメントM_1

$$M_1 = W \cdot h$$

（ロ）　鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメントM_2

$$M_2 = \frac{\left(F_v + H_s\right) \cdot B_3}{2}$$

（ハ）　原動機フレームに作用するモーメントM

$$M = M_1 + M_2$$

（ニ）　曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで,

$$Z = \frac{\pi}{32}\left(\frac{B_3^{\,4} - B_4^{\,4}}{B_3}\right)$$

ロ．　圧縮応力

原動機フレームに生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + H_s}{S_2}$$

ここで,

$$S_2 = \frac{\pi}{4}\left(B_3^{\,2} - B_4^{\,2}\right)$$

原動機フレームの断面図を図 3-7 に示す。

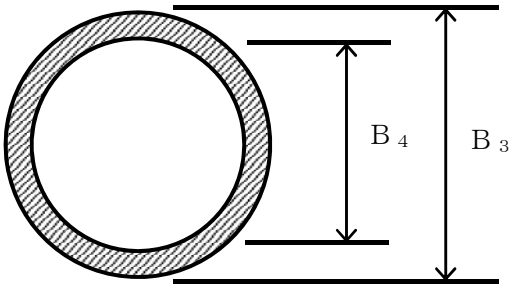


図 3-7　原動機フレームの断面図

(c)　据付面基礎ボルトに生じる応力

イ．　引張応力

据付面基礎ボルトに生じる引張応力σ_tは次式より算出される。

（イ）　引張力

$$M = 2\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot L_i \qquad \cdots \ (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \qquad \cdots \ (3.2)$$

(3.1)　(3.2) 式より,

$$F_n = \frac{M}{2\sum_{i=1}^{n} L_i^{\,2}} L_n$$

ここで，Mは以下による。

$$M = W \cdot h + (F_v + H_s) \cdot \frac{L_n}{2}$$

（ロ） 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_n}{A_b}$$

ここで，据付面基礎ボルトの軸断面積A_bは，

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

ロ． せん断応力

据付面基礎ボルトに生じるせん断応力τは次式より算出される。据付面基礎ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

（イ） せん断力

$$Q_b = W$$

（ロ） せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図を図 3-8 に示す。

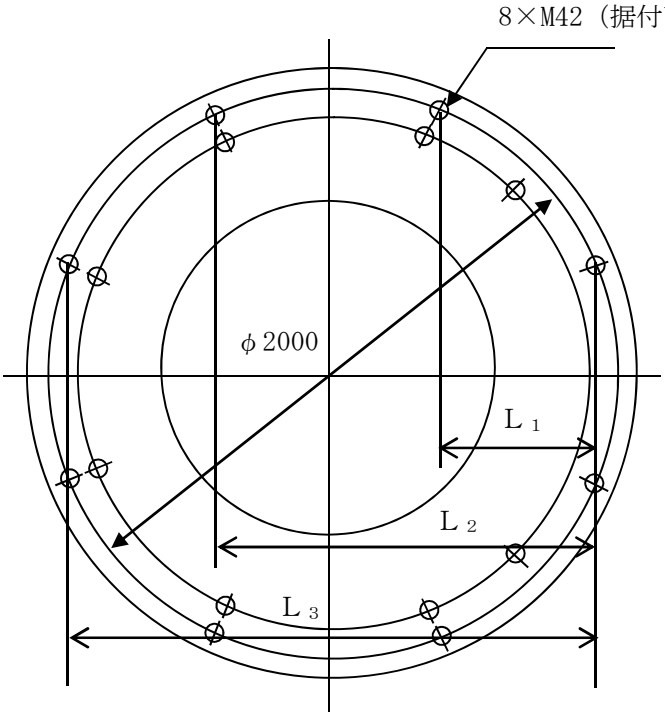


図 3-8　据付面基礎ボルト*の各ボルト間寸法の配置図

注記　＊：外側のボルトが据付面基礎ボルト，内側のボルトが原動機台取付ボルト

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 評価条件

q (N/m^2)	G (－)	C (－)	V_D (m/s)	Z_b (m)	Z_G (m)
960	2.2	1.2	30	5	350

F_v' (N/m^2)	α (－)	g (m/s^2)
7565	0.15	9.80665

表 4-2 評価条件（原動機台，原動機フレーム）

A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	m (kg)	P (kg)	B_1 (mm)	B_2 (mm)
8.354	5.760	15200	4400	1680	1648

B_3 (mm)	B_4 (mm)	h (mm)
1890	1878	1365

表 4-3 評価条件（据付面基礎ボルト）

A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	m (kg)	P (kg)	L_1 (mm)	L_2 (mm)
12.15	5.760	17800	4400	541.2	1306.6

L_3 (mm)	ボルト サイズ	N (－)	A_b (mm^2)	h (mm)
1847.8	M42	8	1385	2279

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

原動台，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1　残留熱除去系海水系ポンプの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機台	SS400	圧縮	3	229
原動機フレーム	SS400	曲げ	13	273
		圧縮	7	235
据付面基礎ボルト	S22C	引張	34	195
		せん断	2	150
		組合せ	34	195

Ⅴ-3-別添 2-1-2　残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 4
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 8
3.3 荷重及び荷重の組合せ 9
3.4 許容限界 11
3.5 評価方法 12
4. 評価条件 16
5. 強度評価結果 17

1. 概要

本資料は，添付書類「V-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，残留熱除去系海水系ストレーナが降下火砕物等堆積時においても，海水中の固形物を除去する機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

残留熱除去系海水系ストレーナは，添付書類「V-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，残留熱除去系海水系ストレーナの「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

残留熱除去系海水系ストレーナは，添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外の海水ポンプ室に設置する。海水ポンプ室の位置図を図 2-1 に示す。

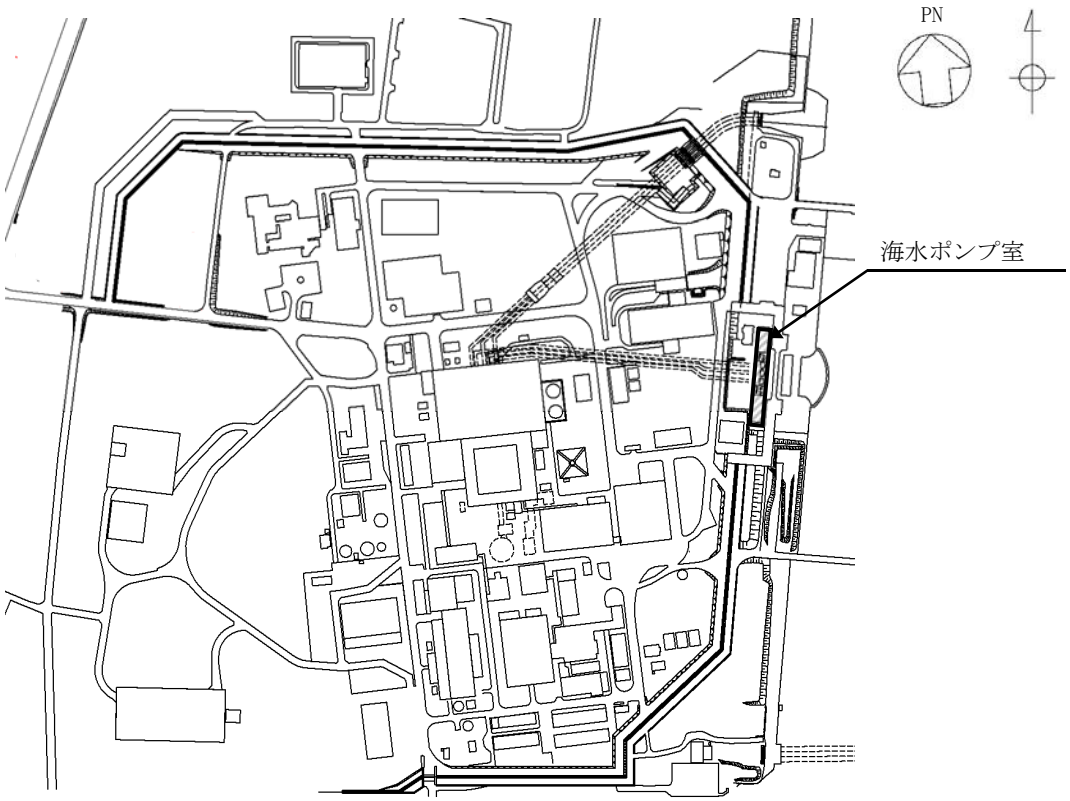


図 2-1　海水ポンプ室の位置図

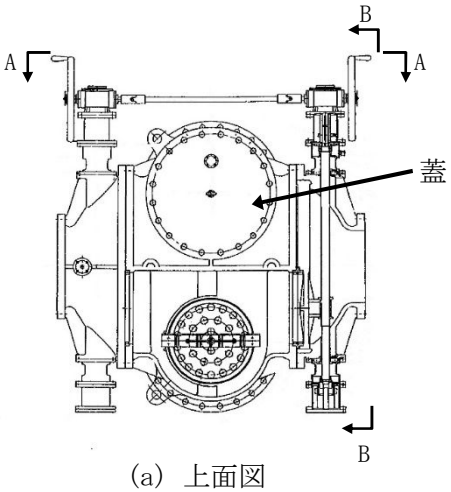
2.2　構造概要

残留熱除去系海水系ストレーナは，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

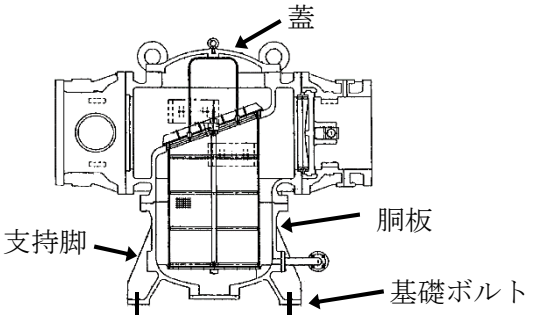
残留熱除去系海水系ストレーナは，胴板と支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を並べて組み合せた構造であり，支持脚が基礎ボルトで固定されている。ストレーナの上部開口には蓋が設置されており，同一設計の残留熱除去系海水系ストレーナを2台設置している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のストレーナの概要図を図2-2に示す。

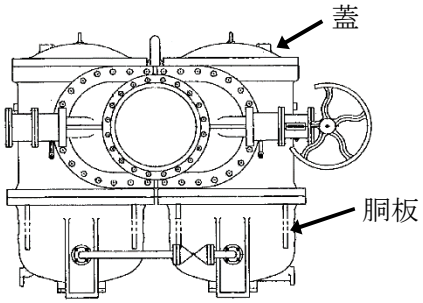
残留熱除去系海水系ストレーナが風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図を図2-3，降下火砕物等が残留熱除去系海水系ストレーナに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-4に示す。



(a) 上面図

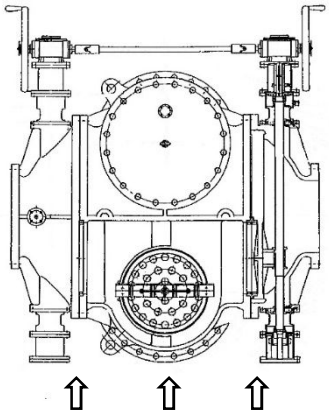


(b) 側面図（A-A 矢視）



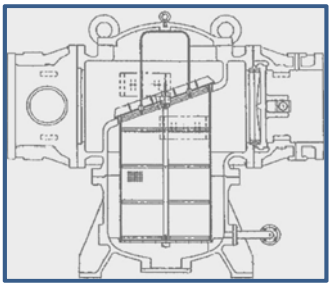
(c) 側面図（B-B 矢視）

図 2-2　残留熱除去系海水系ストレーナの概要図



風（台風）による水平荷重の方向

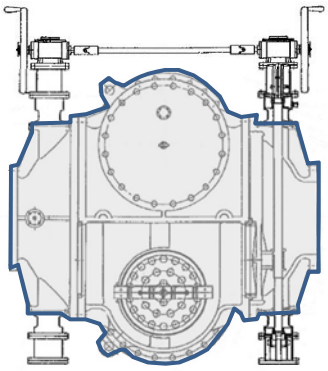
(a)　上面図



：風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面

(b)　側面図

図 2-3　風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図



：降下火砕物等

図 2-4　降下火砕物等の堆積状態図

2.3　評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，ストレーナの評価対象部位に作用する応力が，許容限界に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フローを図2-5に示す。残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価においては，その構造を踏まえ，降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については，ストレーナ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また，風（台風）による水平荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用する。それぞれの評価については，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に示す評価式を用いる。残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」に示す許容限界である，設計降伏点S_y又はＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$Ⅲ_AS$とする。

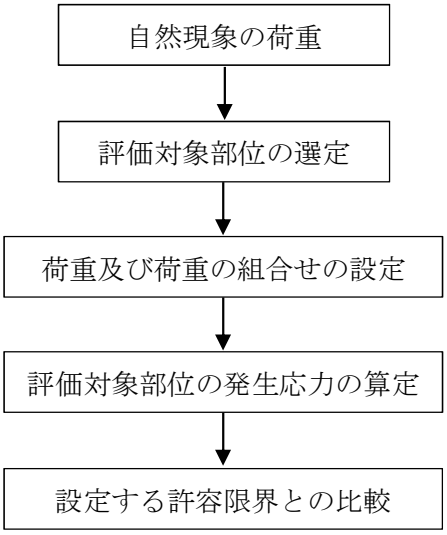


図2-5　残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　建築基準法及び同施行令

(2)　茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）

(3)　建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）

(4)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補 - 1984（（社）日本電気協会）

(5)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

(6)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991追補版（（社）日本電気協会）

(7)　発電用原子力設備規格 設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）

(8)　2015年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）

(9)　新版機械工学便覧（1987年　日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A_1	mm^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_2	mm^2	降下火砕物等の堆積面積
A_b	mm^2	基礎ボルトの軸断面積
a	mm	蓋の外半径
B_{x1}	mm	支持脚の寸法
B_{x2}	mm	支持脚の寸法
B_{y1}	mm	支持脚の寸法
B_{y2}	mm	支持脚の寸法
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
E’	－	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	－	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_b	N	基礎ボルトに対する引張力
F_d	N	ストレーナ自重（内包水含む）による荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v’	N/mm^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容圧縮応力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	ストレーナ高さ（全高）
H_s	N	支持脚に常時作用するストレーナ自重（内包水含む）の荷重
h	mm	蓋の板厚
h_g	mm	ストレーナ重心高さ

表 3-1　残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
L_1	mm	基礎ボルト間の水平距離
L_H	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	容器の有効運転質量*
N	－	基礎ボルトの本数
n_f	－	引張力を受ける基礎ボルトの本数
p	N/mm^2	蓋に作用する等分布荷重
Q_b	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
S	mm^2	支持脚の断面積
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張り強さ
V_D	m/s	基準風速
W	N	風（台風）による水平荷重
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
π	－	円周率
σ_b	MPa	蓋に生じる曲げ応力
σ_c	MPa	支持脚に生じる圧縮応力
σ_t	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
α	－	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

注記　＊：有効運転質量は，容器の満水時における質量とする。

3.2　評価対象部位

残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，蓋，支持脚及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，最も多く降下火砕物が堆積するストレーナ上部の蓋，蓋等のストレーナ上部を介して胴板及び支持脚に作用する。風（台風）による水平荷重については，胴板及び支持脚を介して基礎ボルトに作用する。

このことから，降下火砕物等による鉛直荷重に対しては，降下火砕物が堆積する蓋及び蓋等のストレーナ上部を介して荷重が作用する胴板及び支持脚のうち，降下火砕物が堆積する蓋及び胴板と比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる支持脚を評価対象部位として選定する。また，風（台風）による水平荷重に対しては，胴板及び支持脚と比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価における評価対象部位を，図 3-1 に示す。

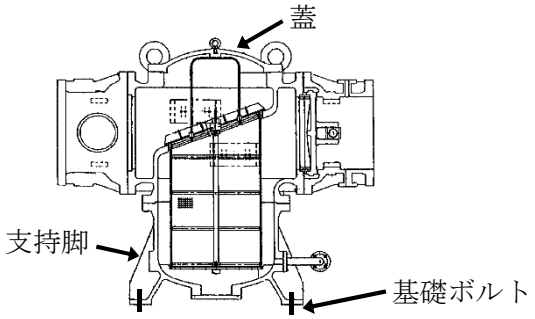


図 3-1　残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は，自重を考慮する。

b.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v')

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，7565 N/m^2 とする。

c.　風（台風）による水平荷重（W）

風（台風）による水平荷重は，基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.　水平荷重」に示す式に従い，算出する。全高Hが 5 m 以下であるため，全高HがZ_b以下の場合の式を用いる。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図 3-2 に示す。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^{\alpha}$$

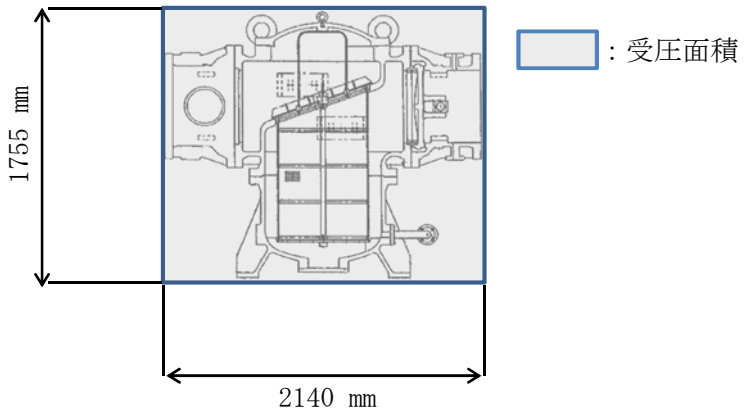


図3-2　風（台風）による水平荷重の受圧面積

d.　運転時の状態で作用する荷重（F_p）

運転時の状態で作用する荷重として，内包水の荷重を自重に含めて考慮する。

(2)　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位ごとに設定する。

残留熱除去系海水系ストレーナの蓋及び支持脚には，自重，降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する。また，基礎ボルトには，自重，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風（台風）による水平荷重が作用する。

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2　荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
残留熱除去系海水系ストレーナ	蓋	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	支持脚	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重

3.4　許容限界

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界値は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，設計降伏点S_y又はＪＥＡＧ４６０１に基づき許容応力状態$Ⅲ_AS$の許容応力を用いる。

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は，蓋に対しては弾性範囲である設計降伏点S_yとする。支持脚及び基礎ボルトに対してはＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態$Ⅲ_AS$から算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5，6 の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5，6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界を表 3-3，許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3　残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
蓋	－	一次応力	曲げ	S_y
支持脚	$Ⅲ_AS$	一次応力	圧縮	$1.5f_c$
基礎ボルト	$Ⅲ_AS$	一次応力	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	Min｛$1.5f_t$，（$2.1f_t-1.6\tau$）｝

表 3-4　残留熱除去系海水系ストレーナの許容応力

評価対象部位	材料	温度条件（℃）	S_y（MPa）	S_u（MPa）	F（MPa）	$1.5f_c$（MPa）	$1.5f_t$（MPa）	$1.5f_s$（MPa）
蓋	SCS14	50＊	180	－	－	－	－	－
支持脚	SCS14	50＊	180	429	185	184	－	－
基礎ボルト	SS400	50＊	231	394	231	－	173	133

注記　＊：周囲環境温度

3.5　評価方法

残留熱除去系海水系ストレーナの応力評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(1)　評価モデル

a.　等分布荷重による評価

等分布荷重による評価を行うストレーナの蓋は，平板円板モデルとする。なお，ストレーナの蓋はドーム型円板であるが，平板円板では鉛直荷重全てが平板円板に対する曲げ荷重として作用するのに対し，ドーム型円板では鉛直荷重の一部は径方向への部材に対する圧縮として作用し，曲げ荷重が緩和されるので，平板円板モデルとして評価するのは保守的である。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図 3-3 に示す。

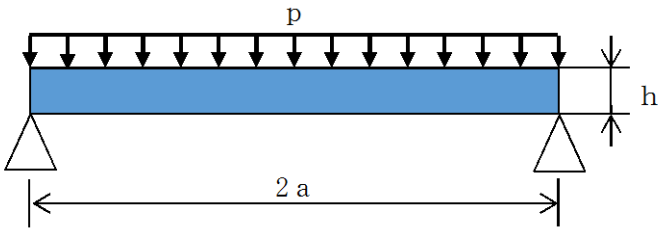


図 3-3　等分布荷重による評価に用いるモデル図

b.　1 質点系モデルによる評価

降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び自重（鉛直荷重）並びに風（台風）による水平荷重に対する，基礎ボルトの構造健全性を 1 質点系モデルとして計算を行う。ここで，荷重の作用点は評価上高さの 1/2 より高いストレーナの重心位置とする。残留熱除去系海水系ストレーナの 1 質点系モデル図を図 3-4 に示す。

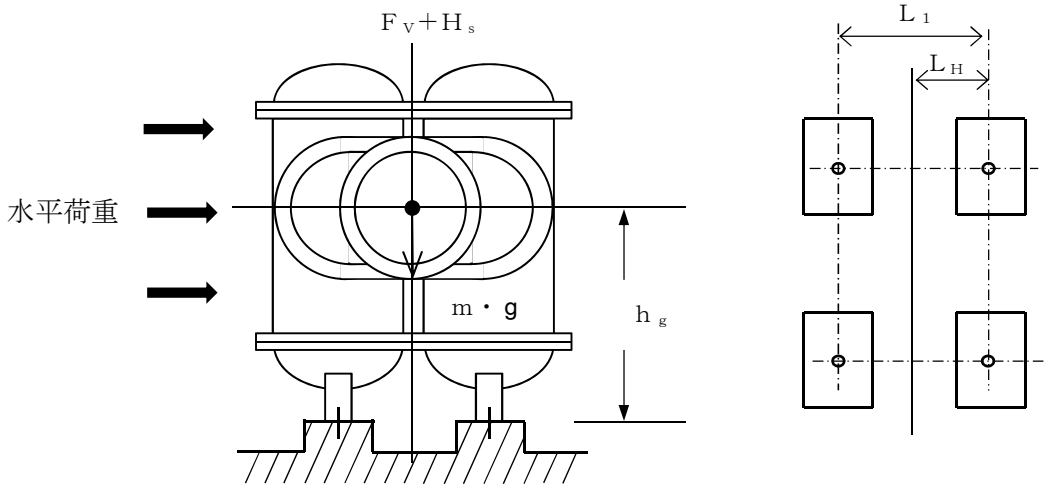


図 3-4　1 質点系モデル図

(2)　評価方法

a.　鉛直方向荷重

(a)　降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の受圧面積を図 3-5 に示す。保守的に基礎部面積分の降下火砕物等がストレーナに堆積すると仮定し，基礎部面積を受圧面積とする。

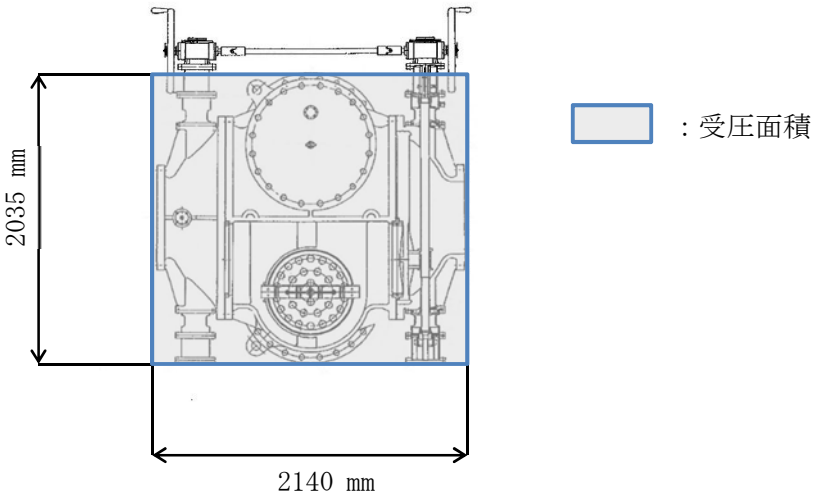


図3-5　鉛直荷重の受圧面積

(b)　支持脚に常時作用するストレーナ自重による軸方向荷重

$$H_s = F_d$$

ここで,

$$F_d = m \cdot g$$

b.　応力評価

(a)　蓋に生じる応力

イ.　曲げ応力

蓋に生じる曲げ応力σ_bは次式より算出される。

$$\sigma_b = 1.24 \cdot \frac{p \cdot a^2}{h^2}$$

(b)　支持脚に生じる応力

イ．　圧縮応力

支持脚に生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + H_s}{S}$$

ここで,

$$S = \left\{ \left(B_{x1} \cdot B_{y1} \cdot 2 \right) + \left(B_{x2} \cdot B_{y2} \right) \right\} \cdot 4$$

支持脚の断面図を図 3-6 に示す。

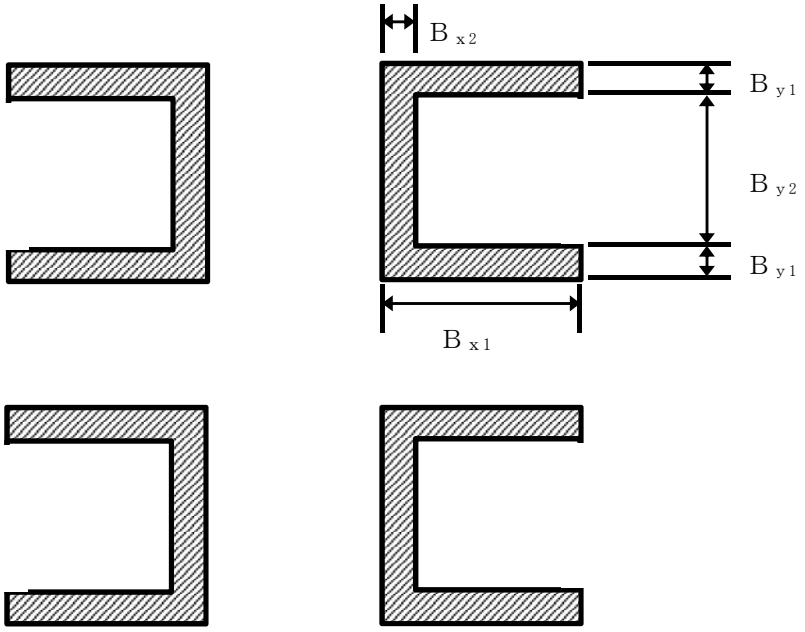


図 3-6　支持脚の断面図

(c) 基礎ボルトに生じる応力

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力σ_tは次式より算出される。

最も厳しい条件として，基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

（イ） 引張力

$$F_b = \frac{W \cdot h_g + (m \cdot g + F_v) L_H}{n_f \cdot L_1}$$

（ロ） 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは，

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力τは次式より算出される。基礎ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

（イ） せん断力

$$Q_b = W$$

（ロ） せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 評価条件

q (N/m^2)	G (－)	C (－)	V_D (m/s)	Z_b (m)	Z_G (m)
960	2.2	2.4	30	5	350

F_v' (N/m^2)	α (－)	g (m/s^2)
7565	0.15	9.80665

表 4-2 評価条件（蓋）

p (N/mm^2)	a (mm)	h (mm)
0.0115	460	28

表 4-3 評価条件(支持脚及び基礎ボルト)

A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	B_{x1} (mm)	B_{x2} (mm)	B_{y1} (mm)	B_{y2} (mm)
3.76	4.35	150	25	25	174

L_H (mm)	L_1 (mm)	m (kg)	ボルト サイズ	N (－)	n_f (－)
515	1030	9850	M30	4	2

A_b (mm^2)	h_g (mm)
706.9	1188

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

蓋，支持脚及び基礎ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1　残留熱除去系海水系ストレーナの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
蓋	SCS14	曲げ	4	180
支持脚	SCS14	圧縮	3	184
基礎ボルト	SS400	引張	53	173
		せん断	4	133
		組合せ	53	173

Ⅴ-3-別添 2-1-3　ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 4
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 8
3.3 荷重及び荷重の組合せ 9
3.4 許容限界 12
3.5 評価方法 13
4. 評価条件 19
5. 強度評価結果 20

1. 概要

本資料は，添付書類「V-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「ディーゼル発電機用海水ポンプ」という。）が降下火砕物等堆積時においても，送水機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電機用海水ポンプは，添付書類「V-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，ディーゼル発電機用海水ポンプの「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

ディーゼル発電機用海水ポンプは，添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外の海水ポンプ室に設置する。海水ポンプ室の位置図を図 2-1 に示す。

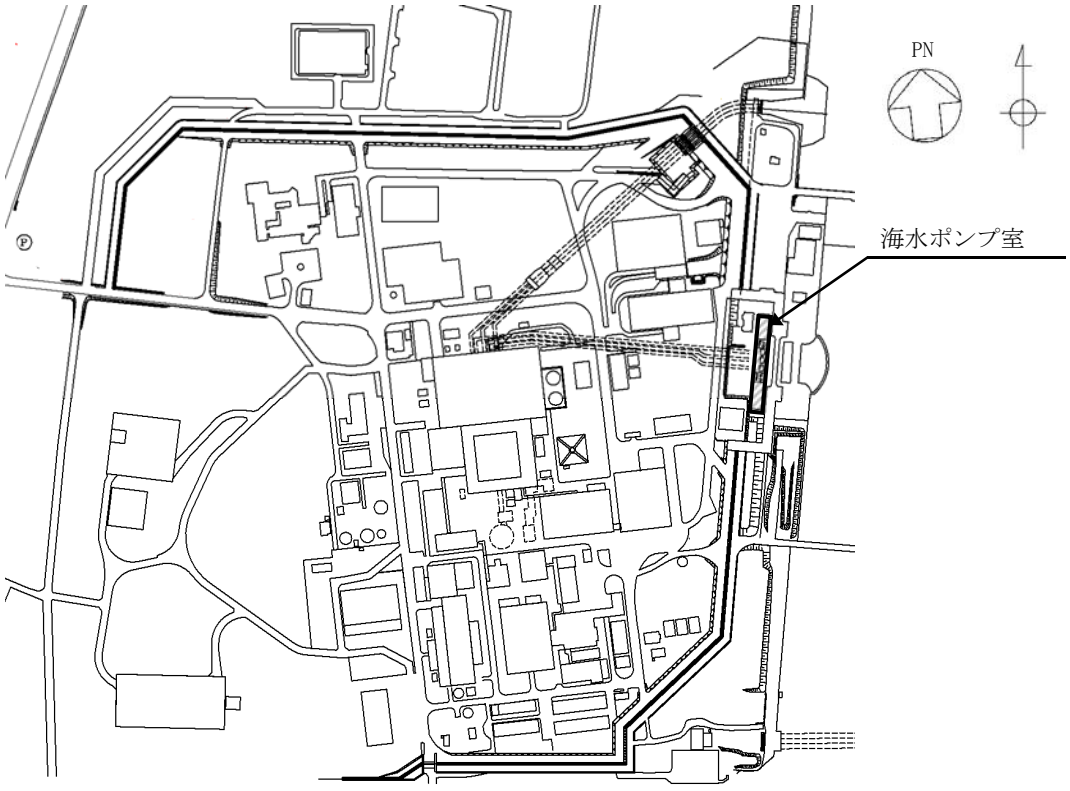


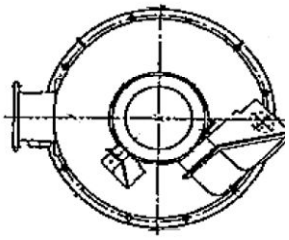
図 2-1　海水ポンプ室の位置図

2.2　構造概要

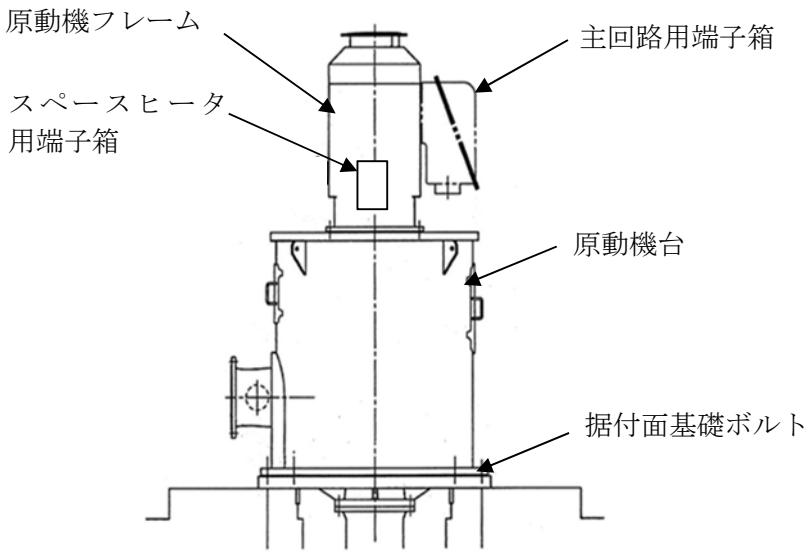
ディーゼル発電機用海水ポンプは，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

ディーゼル発電機用海水ポンプは，ポンプ据付面から原動機台までのポンプ部と，原動機台より上部の原動機部からなる立形ポンプであり，同一設計の非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ2台及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ1台を設置している。降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のポンプの概要図を図2-2に示す。

ディーゼル発電機用海水ポンプ原動機の形状は円筒形を基本としたフレームに，主回路用端子箱等が付加された形態であり，ポンプのスラスト荷重は全て原動機フレーム及び原動機台に作用する構造とする。ディーゼル発電機用海水ポンプが風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図を図2-3，降下火砕物等がディーゼル発電機用海水ポンプに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-4に示す。

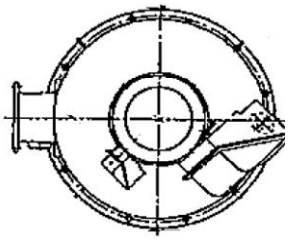


(a) 上面図



(b) 側面図

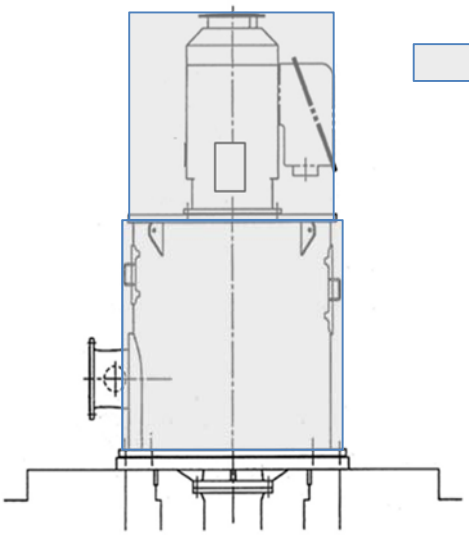
図 2-2　ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図



⇧　⇧　⇧

風（台風）による水平荷重の方向

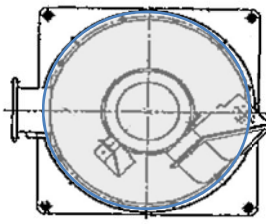
(a) 上面図



：風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面

(b) 側面図

図 2-3　風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図



：降下火砕物等

図 2-4　降下火砕物等の堆積状態図

2.3　評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，評価対象部位に作用する応力が，許容限界に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価フローを図2-5に示す。ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価においては，その構造を踏まえ，降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については，ポンプ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また，風（台風）による水平荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に示す評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」に示す許容限界である，ＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$とする。

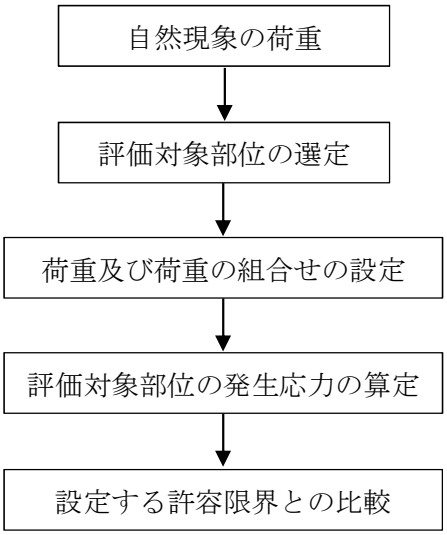


図2-5　ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　建築基準法及び同施行令

(2)　茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）

(3)　建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）

(4)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補 - 1984（（社）日本電気協会）

(5)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

(6)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991追補版（（社）日本電気協会）

(7)　発電用原子力設備規格 設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）

(8)　2015年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）

(9)　新版機械工学便覧（1987年　日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A_1	m^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_2	m^2	降下火砕物等の堆積面積
A_b	mm^2	ボルトの断面積
B_1	mm	原動機台外径
B_2	mm	原動機台内径
B_3	mm	原動機フレーム外径
B_4	mm	原動機フレーム内径
C	－	風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
E’	－	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	－	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F	N	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される値
F_d	N	原動機自重による軸方向荷重
F_p	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
F_i	N	各ボルトに作用する引張力
F_n	N	ボルトに作用する最大引張力
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v’	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_b	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容曲げ応力
f_c	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容圧縮応力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度

表 3-1　ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
H	mm	ポンプ高さ（全高）
H_s	N	原動機自重及びポンプスラストによる軸方向荷重
h	mm	取付面から荷重作用点までの距離
L_i	mm	ボルト間の距離
L_n	mm	各ボルト間距離のうち最長距離
M	N・mm	評価対象部位に作用するモーメント
M_1	N・mm	水平荷重により原動機フレームに作用するモーメント
M_2	N・mm	鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント
m	kg	原動機の質量
N	－	ボルトの本数
P	kg	ポンプスラスト荷重
q	N/m^2	速度圧
Q_b	N	ボルトに対するせん断力
S_1	mm^2	原動機台の断面積
S_2	mm^2	原動機フレームの断面積
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
V_D	m/s	基準風速
W	N	風（台風）による水平荷重
Z	mm^3	断面係数
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
π	－	円周率
σ_c	MPa	評価対象部位に生じる圧縮応力
σ_b	MPa	原動機フレームに生じる曲げ応力
σ_t	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
α	-	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
τ	MPa	せん断応力

3.2　評価対象部位

ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，原動機台，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトとする。

評価対象部位は，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，最も多く降下火砕物が堆積する原動機上部を介して支持している原動機フレーム及び原動機台に作用する。また，風（台風）による水平荷重は，原動機フレーム及び原動機台に作用し，原動機台を介して据付面基礎ボルトに作用する。さらに，ポンプのスラスト荷重は全て原動機フレーム及び原動機台に作用する。

このことから，降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては，原動機フレーム及び原動機台を評価対象部位とする。また，風（台風）による水平荷重に対しては，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトを評価対象部位とする。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。

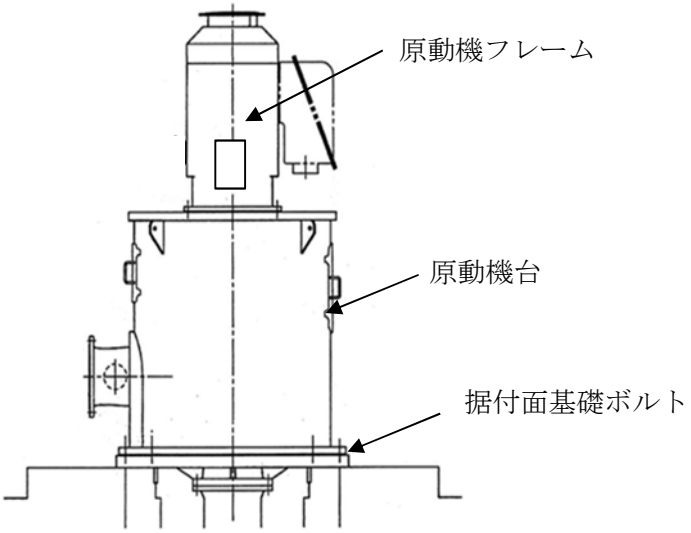


図 3-1　ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は，原動機の自重を考慮する。

b.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v')

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，7565 N/m^{2}とする。

c.　風（台風）による水平荷重（W）

風（台風）による水平荷重は，基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.　水平荷重」に示す式に従い，算出する。全高Hが 5 m 以下であるため，HがZ_b以下の場合の式を用いる。

評価に用いる複合荷重は原動機フレーム，原動機台及び主回路用端子箱に風（台風）による水平荷重を受けた際の複合荷重とする。なお，複合荷重は，原動機フレーム，原動機台及び主回路用端子箱に対する各々の風力係数を考慮した風（台風）による水平荷重を含有するような面積を設定し算出する。

風（台風）による水平荷重によるWは以下のようにして求める。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図 3-2 に示す。

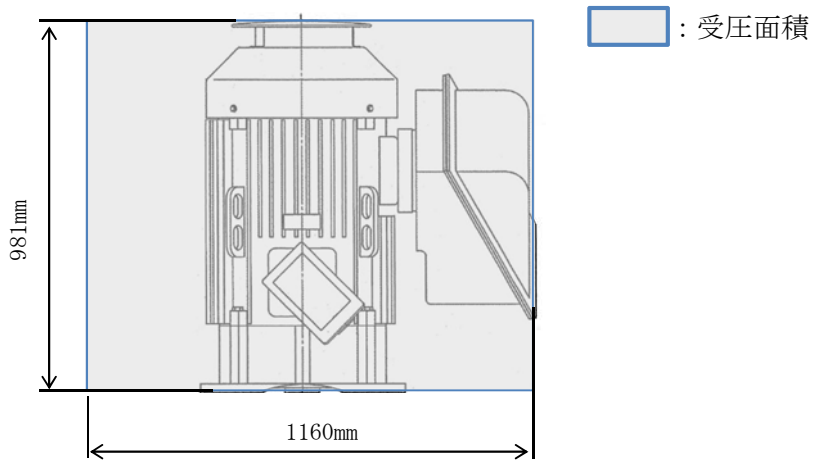
$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで，

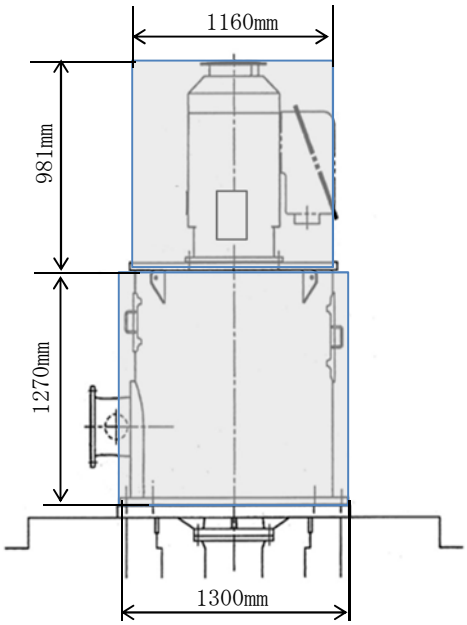
$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^{\alpha}$$



(a)　原動機フレーム評価



(b)　基礎ボルト評価

図 3-2　風（台風）による水平荷重の受圧面積

d.　運転時の状態で作用する荷重（F_p）

運転時の状態で作用する荷重は，鉛直下向きに働くポンプスラスト荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電機用海水ポンプには，自重，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風（台風）による水平荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2　荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル発電機用海水ポンプ	原動機台	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③ポンプスラスト荷重
	原動機フレーム	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重 ④ポンプスラスト荷重
	据付面基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重 ④ポンプスラスト荷重

3.4　許容限界

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，ＪＥＡＧ４６０１に基づき許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容応力を用いる。

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓから算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界を表 3-3，許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3 ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
原動機台	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ	一次応力	圧縮	$1.5f_c$
原動機フレーム	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ	一次応力	曲げ	$1.5f_b$
			圧縮	$1.5f_c$
据付面基礎ボルト	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ	一次応力	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	$\mathrm{Min}\{1.5f_t,\ (2.1f_t-1.6\tau)\}$

表 3-4　ディーゼル発電機用海水ポンプの許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5f_c$ (MPa)	$1.5f_b$ (MPa)	$1.5f_t$ (MPa)	$1.5f_s$ (MPa)
原動機台	SS400	50*1	241	394	241	240	－	－	－
原動機フレーム	SS400	95*2	223	374	223	222	257	－	－
据付面基礎ボルト	S20C	50*1	241	391	241	－	－	180	139

注記　＊1：周囲環境温度

＊2：最高使用温度

3.5　評価方法

ディーゼル発電機用海水ポンプの応力評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定しているディーゼル発電機用海水ポンプの評価式を用いる。

(1)　評価モデル

降下火砕物等堆積による鉛直荷重，ポンプスラスト荷重（鉛直荷重）及び自重（鉛直荷重）並びに風（台風）による水平荷重に対する，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトの構造健全性を 1 質点系モデルとして計算を行う。ここで，荷重の作用点は評価上高さの 1/2 とする。ディーゼル発電機用海水ポンプの評価モデル図を図 3-3 及び図 3-4 に示す。

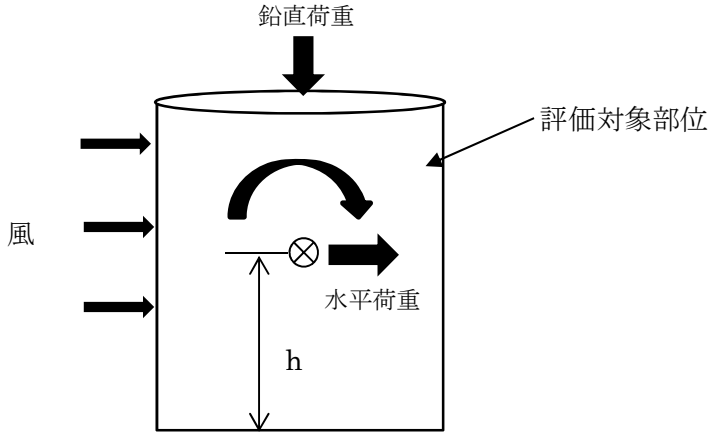


図 3-3　1 質点系モデル図（原動機フレーム）

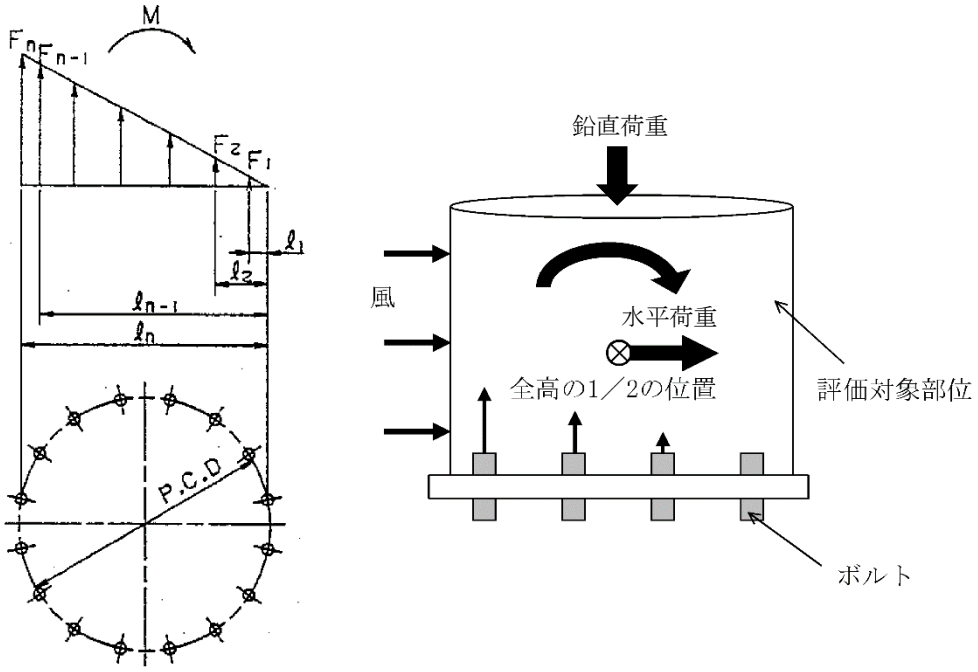


図 3-4　1 質点系モデル図（据付面基礎ボルト）

(2)　評価方法

a.　鉛直方向荷重

(a)　降下火砕物堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の受圧面積を図 3-5 に示す。保守的に基礎部面積分の降下火砕物等が原動機に堆積すると仮定し，基礎部面積を受圧面積とする。

なお，基礎部面積に包含されない主回路用端子箱の一部については，堆積面積の保守性に包含される。

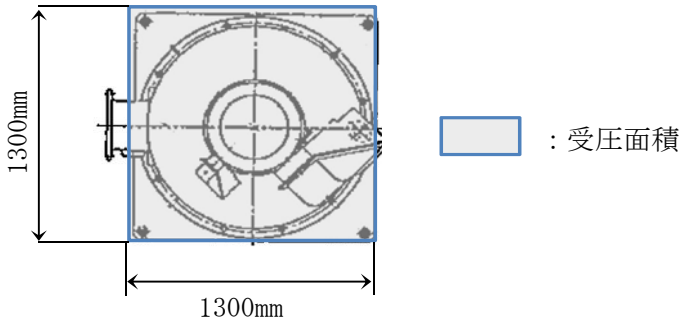


図 3-5　鉛直荷重の受圧面積

(b)　原動機台，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトに作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重

$$H_s = F_d + F_p$$

ここで，

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

b.　応力評価

(a)　原動機台に生じる応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H_s}{S_1}$$

ここで,

$$S_1 = \frac{\pi}{4}\left(B_1^{\,2} - B_2^{\,2}\right)$$

原動機台の断面図を図 3-6 に示す。

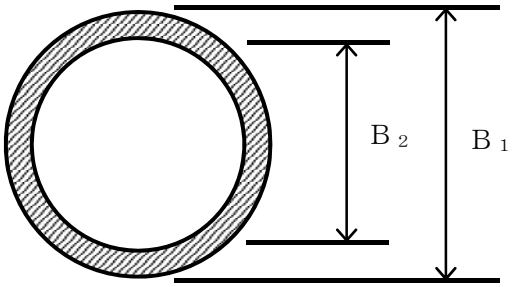


図 3-6　原動機台の断面図

(b)　原動機フレームに生じる応力

イ.　曲げ応力

原動機フレームに生じる曲げ応力 σ_b は次式より算出される。

（イ）　風（台風）による水平荷重により原動機フレームに作用するモーメント M_1

$$M_1 = W \cdot h$$

（ロ）　鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント M_2

$$M_2 = \frac{\left(F_v + H_s\right) \cdot B_3}{2}$$

（ハ）　原動機フレームに作用するモーメント M

$$M = M_1 + M_2$$

（ニ）　曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで,

$$Z = \frac{\pi}{32}\left(\frac{B_3^{\,4} - B_4^{\,4}}{B_3}\right)$$

ロ．　圧縮応力

原動機フレームに生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + H_s}{S_2}$$

ここで,

$$S_2 = \frac{\pi}{4}\left(B_3^{\,2} - B_4^{\,2}\right)$$

原動機フレームの断面図を図 3-7 に示す。

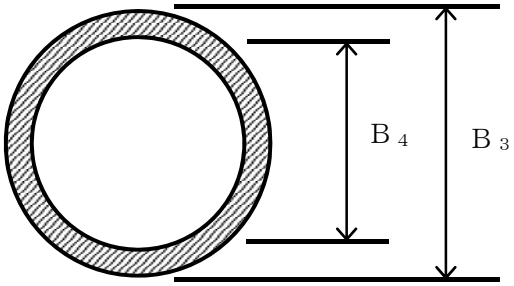


図 3-7　原動機フレームの断面図

(c)　据付面基礎ボルトに生じる応力

イ．　引張応力

据付面基礎ボルトに生じる引張応力σ_tは次式より算出される。

（イ）　引張力

$$M = 2\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot L_i \quad \cdots \quad (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \quad \cdots \quad (3.2)$$

(3.1)　(3.2) 式より,

$$F_n = \frac{M}{2\sum_{i=1}^{n} L_i^{\,2}} L_n$$

ここで，Mは以下による。

$$M = W \cdot h + (F_v + H_s) \cdot \frac{L_n}{2}$$

（ロ） 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_n}{A_b}$$

ここで，据付面基礎ボルトの軸断面積A_bは，

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

ロ． せん断応力

据付面基礎ボルトに生じるせん断応力τは次式より算出される。据付面基礎ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

（イ） せん断力

$$Q_b = W$$

（ロ） せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

据付面基礎ボルトの配置図を図 3-8 に示す。

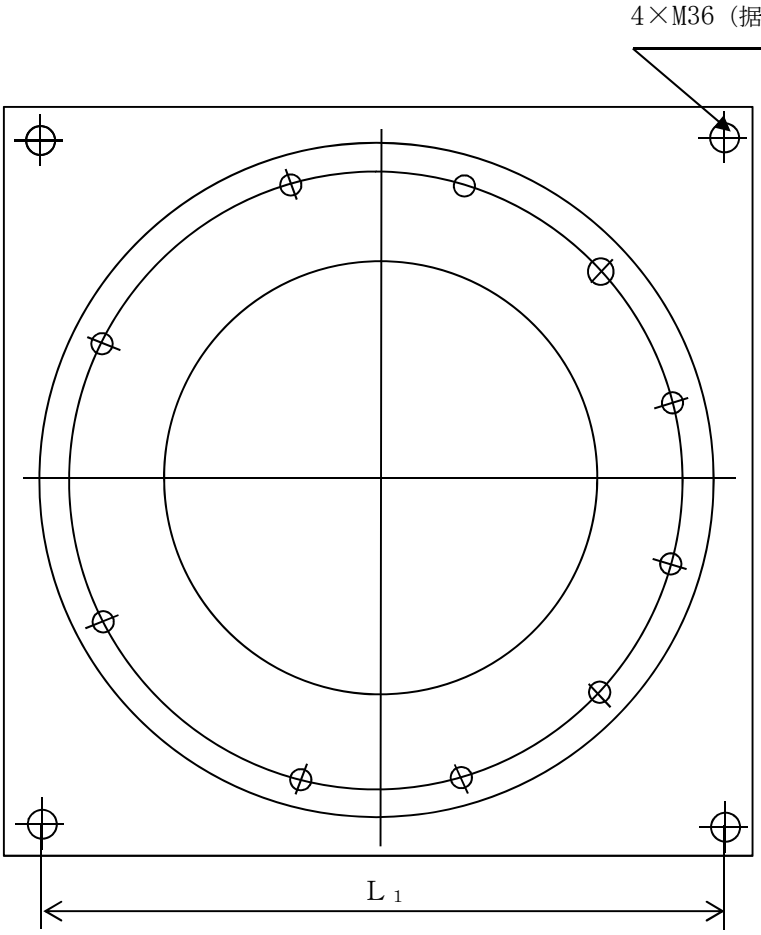


図 3-8　据付面基礎ボルト*の配置図

注記　＊：外側のボルトが据付面基礎ボルト，内側のボルトが原動機台取付ボルト

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 評価条件

q (N/m^2)	G (－)	C (－)	V_D (m/s)	Z_b (m)	Z_G (m)
960	2.2	1.2	30	5	350

F_v' (N/m^2)	α (－)	g (m/s^2)
7565	0.15	9.80665

表 4-2 評価条件（原動機台，原動機フレーム）

A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	m (kg)	P (kg)	B_1 (mm)	B_2 (mm)
1.138	1.690	1230	900	1100	1076

B_3 (mm)	B_4 (mm)	h (mm)
449	425	490.5

表 4-3 評価条件（据付面基礎ボルト）

A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	m (kg)	P (kg)	L_1 (mm)	ボルト サイズ
2.789	1.690	2130	900	1200	M36

N (－)	A_b (mm^2)	h (mm)
4	1018	1126

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

原動台，原動機フレーム及び据付面基礎ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1　ディーゼル発電機用海水ポンプの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機台	SS400	圧縮	1	240
原動機フレーム	SS400	曲げ	5	257
		圧縮	3	222
据付面基礎ボルト	S20C	引張	12	180
		せん断	1	139
		組合せ	12	180

Ⅴ-3-別添 2-1-4　ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 4
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 8
3.3 荷重及び荷重の組合せ 9
3.4 許容限界 11
3.5 評価方法 12
4. 評価条件 16
5. 強度評価結果 17

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ（以下「ディーゼル発電機用海水ストレーナ」という。）が降下火砕物等堆積時においても，海水中の固形物を除去する機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナは，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，ディーゼル発電機用海水ストレーナの「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

ディーゼル発電機用海水ストレーナは，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外の海水ポンプ室に設置する。海水ポンプ室の位置図を図 2-1 に示す。

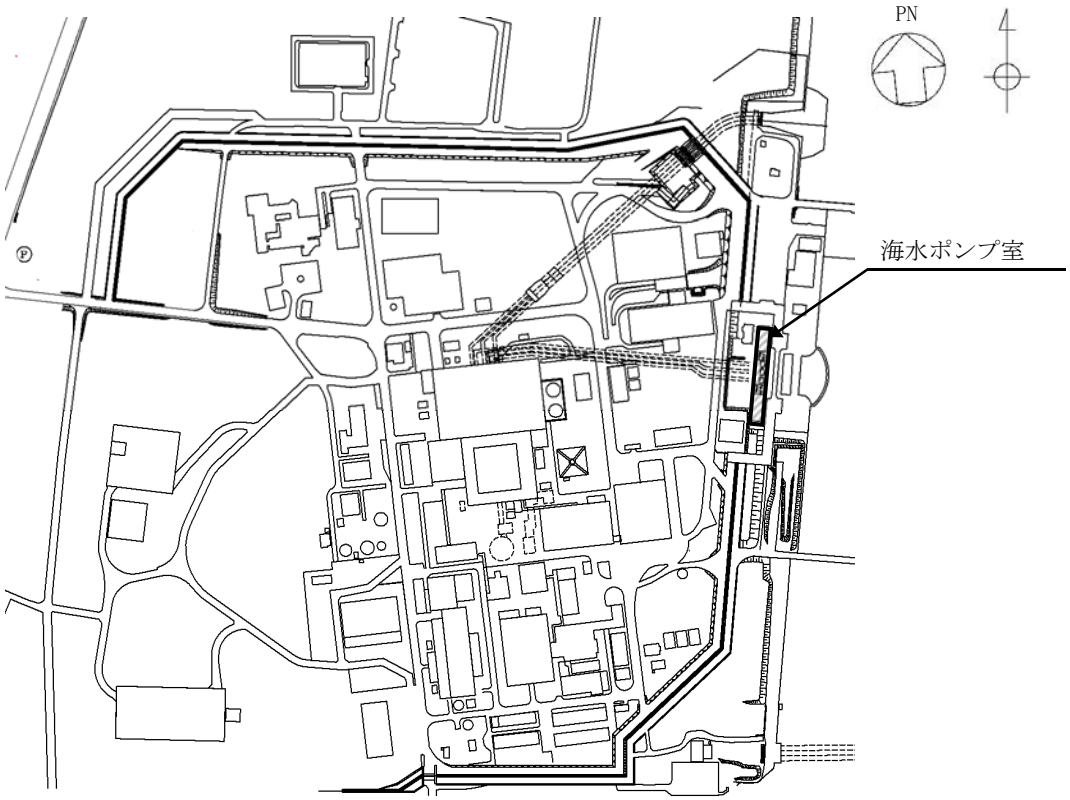


図 2-1　海水ポンプ室の位置図

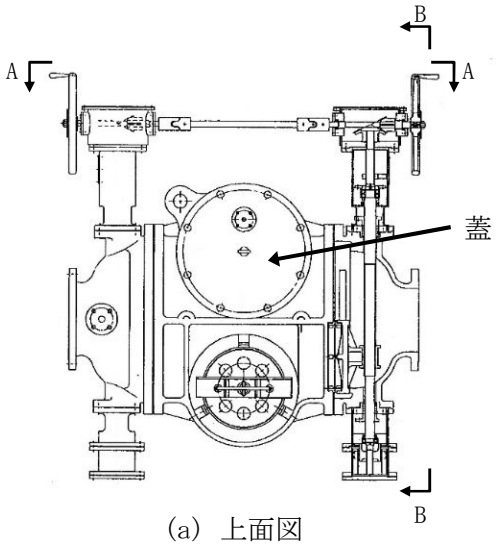
2.2　構造概要

ディーゼル発電機用海水ストレーナは，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

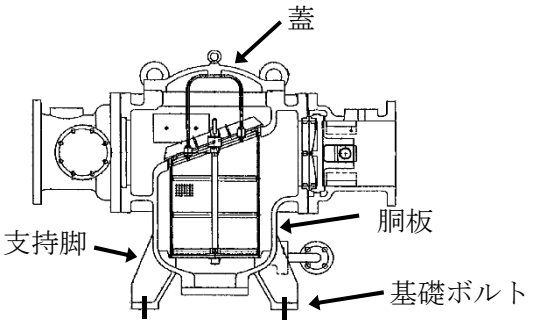
ディーゼル発電機用海水ストレーナは，胴板と支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を並べて組み合せた構造であり，支持脚が基礎ボルトで固定されている。ストレーナの上部開口には蓋が設置されており，同一設計のディーゼル発電機用海水ストレーナを3台設置している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のストレーナの概要図を図2-2に示す。

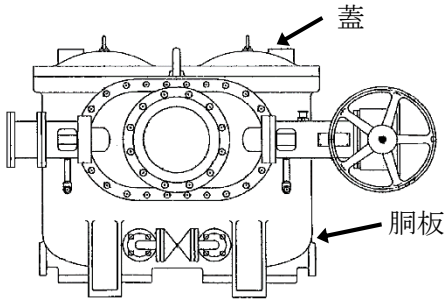
ディーゼル発電機用海水ストレーナが風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図を図2-3，降下火砕物等がディーゼル発電機用海水ストレーナに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-4に示す。



(a) 上面図

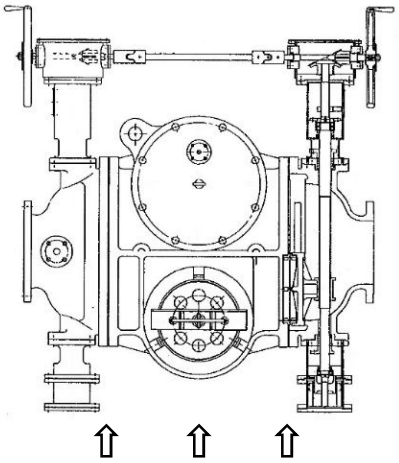


(b) 側面図（A-A 矢視）



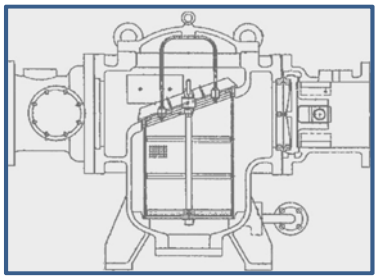
(c) 側面図（B-B 矢視）

図 2-2　ディーゼル発電機用海水ストレーナの概要図



風（台風）による水平荷重の方向

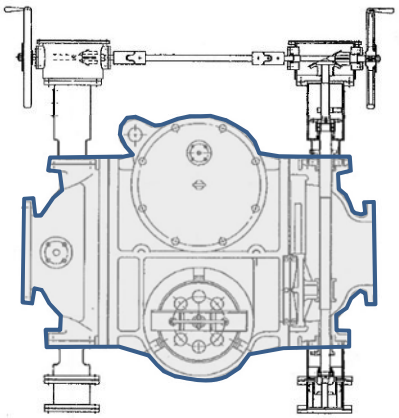
(a)　上面図



：風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面

(b)　側面図

図 2-3　風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図



：降下火砕物等

図 2-4　降下火砕物等の堆積状態図

2.3　評価方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，ストレーナの評価対象部位に作用する応力が，許容限界に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フローを図2-5に示す。ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価においては，その構造を踏まえ，降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については，ストレーナ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また，風（台風）による水平荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用する。それぞれの評価については，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に示す評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」に示す許容限界である，設計降伏点S_y又はＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$Ⅲ_AS$とする。

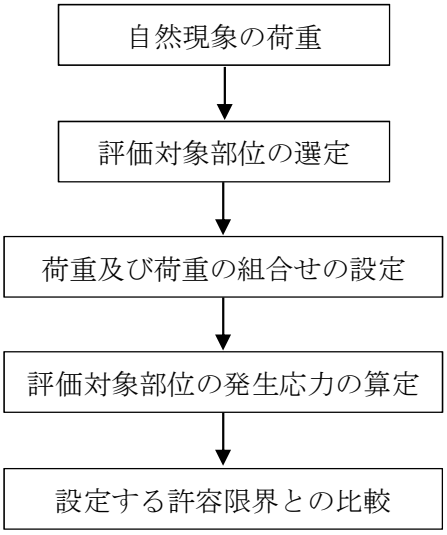


図2-5　ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　建築基準法及び同施行令

(2)　茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）

(3)　建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）

(4)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補 - 1984（（社）日本電気協会）

(5)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

(6)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991追補版（（社）日本電気協会）

(7)　発電用原子力設備規格 設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）

(8)　2015年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）

(9)　新版機械工学便覧（1987年　日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A_1	mm^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_2	mm^2	降下火砕物等の堆積面積
A_b	mm^2	基礎ボルトの軸断面積
a	mm	蓋の外半径
B_{x1}	mm	支持脚の寸法
B_{x2}	mm	支持脚の寸法
B_{y1}	mm	支持脚の寸法
B_{y2}	mm	支持脚の寸法
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
E’	－	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	－	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_b	N	基礎ボルトに対する引張力
F_d	N	ストレーナ自重（内包水含む）による荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v’	N/mm^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容圧縮応力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	ストレーナ高さ（全高）
H_s	N	支持脚に常時作用するストレーナ自重（内包水含む）の荷重
h	mm	蓋の板厚
h_g	mm	ストレーナ重心高さ

表 3-1　ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
L_1	mm	基礎ボルト間の水平距離
L_H	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	容器の有効運転質量*
N	－	基礎ボルトの本数
n_f	－	引張力を受ける基礎ボルトの本数
p	N/mm^2	蓋に作用する等分布荷重
Q_b	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
S	mm^2	支持脚の断面積
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張り強さ
V_D	m/s	基準風速
W	N	風（台風）による水平荷重
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
π	－	円周率
σ_b	MPa	蓋に生じる曲げ応力
σ_c	MPa	支持脚に生じる圧縮応力
σ_t	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
α	－	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

注記　＊：有効運転質量は，容器の満水時における質量とする。

3.2　評価対象部位

ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，蓋，支持脚及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，最も多く降下火砕物が堆積するストレーナ上部の蓋，蓋等のストレーナ上部を介して胴板及び支持脚に作用する。風（台風）による水平荷重については，胴板及び支持脚を介して基礎ボルトに作用する。

このことから，降下火砕物等による鉛直荷重に対しては，降下火砕物が堆積する蓋及び蓋等のストレーナ上部を介して荷重が作用する胴板及び支持脚のうち，降下火砕物が堆積する蓋及び胴板と比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる支持脚を評価対象部位として選定する。また，風（台風）による水平荷重に対しては，胴板及び支持脚と比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価における評価対象部位を，図 3-1 に示す。

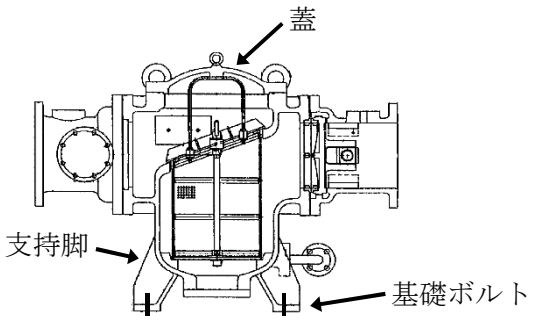


図 3-1　ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は，自重を考慮する。

b.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v')

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，7565 N/m^2 とする。

c.　風（台風）による水平荷重（W）

風（台風）による水平荷重は，基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は，添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.　水平荷重」に示す式に従い，算出する。全高Hが 5 m 以下であるため，全高HがZ_b以下の場合の式を用いる。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図 3-2 に示す。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^{\alpha}$$

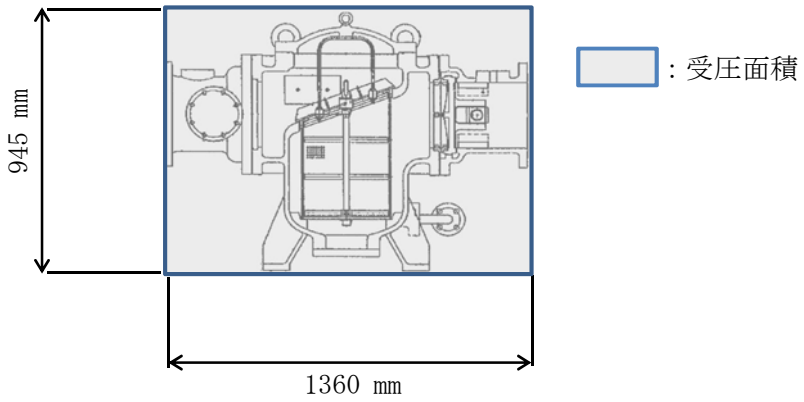


図3-2　風（台風）による水平荷重の受圧面積

d.　運転時の状態で作用する荷重（F_p）

運転時の状態で作用する荷重として，内包水の荷重を自重に含めて考慮する。

(2)　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの蓋及び支持脚には，自重，降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する。また，基礎ボルトには，自重，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風（台風）による水平荷重が作用する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2　荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル発電機用海水ストレーナ	蓋	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	支持脚	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重

3.4　許容限界

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界値は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，設計降伏点S_y又はＪＥＡＧ４６０１に基づき許容応力状態$Ⅲ_AS$の許容応力を用いる。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は，蓋に対しては弾性範囲である設計降伏点S_yとする。支持脚及び基礎ボルトに対してはＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態$Ⅲ_AS$から算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5，6 の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5，6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界を表 3-3，許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3　ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
蓋	－	一次応力	曲げ	S_y
支持脚	$Ⅲ_AS$	一次応力	圧縮	$1.5f_c$
基礎ボルト	$Ⅲ_AS$	一次応力	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	Min｛$1.5f_t$，（$2.1f_t-1.6\tau$）｝

表 3-4　ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容応力

評価対象部位	材料	温度条件（℃）	S_y（MPa）	S_u（MPa）	F（MPa）	$1.5f_c$（MPa）	$1.5f_t$（MPa）	$1.5f_s$（MPa）
蓋	SCS14	50＊	180	－	－	－	－	－
支持脚	SCS14	50＊	180	429	185	184	－	－
基礎ボルト	SS400	50＊	231	394	231	－	173	133

注記　＊：周囲環境温度

3.5　評価方法

ディーゼル発電機用海水ストレーナの応力評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(1)　評価モデル

a.　等分布荷重による評価

等分布荷重による評価を行うストレーナの蓋は，平板円板モデルとする。なお，ストレーナの蓋はドーム型円板であるが，平板円板では鉛直荷重全てが平板円板に対する曲げ荷重として作用するのに対し，ドーム型円板では鉛直荷重の一部は径方向への部材に対する圧縮として作用し，曲げ荷重が緩和されるので，平板円板モデルとして評価するのは保守的である。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図 3-3 に示す。

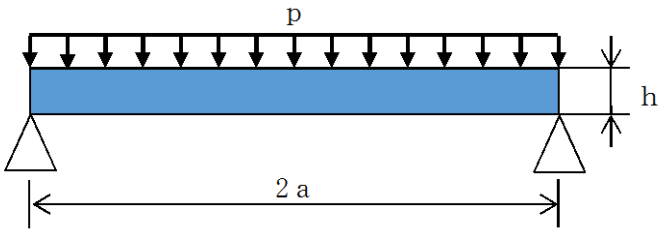


図 3-3　等分布荷重による評価に用いるモデル図

b.　1 質点系モデルによる評価

降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び自重（鉛直荷重）並びに風（台風）による水平荷重に対する，基礎ボルトの構造健全性を 1 質点系モデルとして計算を行う。ここで，荷重の作用点は評価上高さの 1/2 より高いストレーナの重心位置とする。ディーゼル発電機用海水ストレーナの 1 質点系モデル図を図 3-4 に示す。

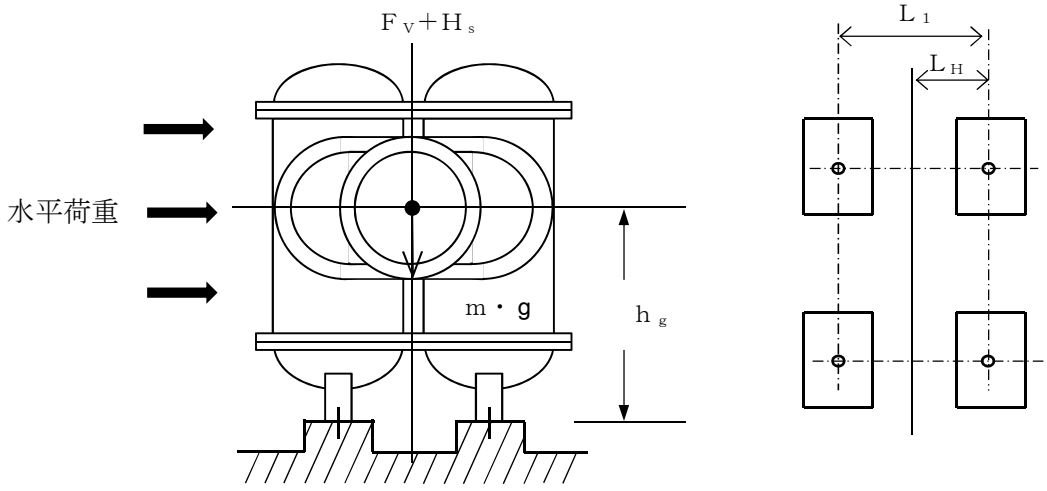


図 3-4　1 質点系モデル図

(2)　評価方法

a.　鉛直方向荷重

(a)　降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の受圧面積を図 3-5 に示す。保守的に基礎部面積分の降下火砕物等がストレーナに堆積すると仮定し，基礎部面積を受圧面積とする。

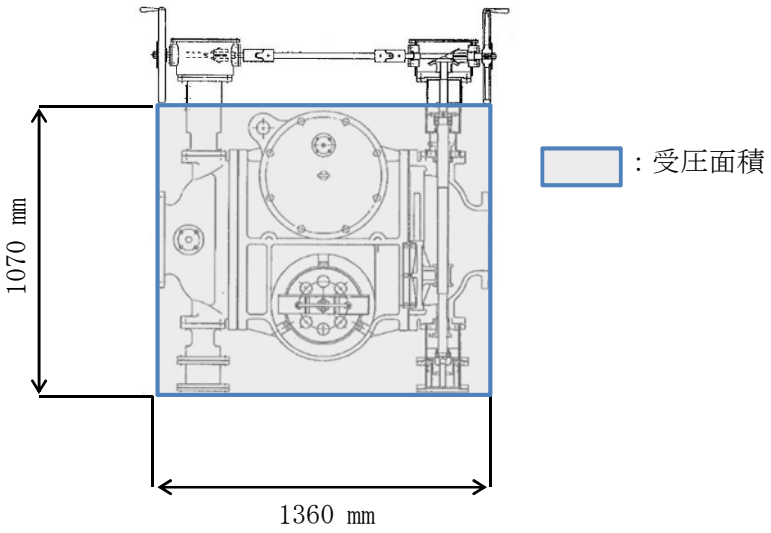


図3-5　鉛直荷重の受圧面積

(b)　支持脚に常時作用するストレーナ自重による軸方向荷重

$$H_s = F_d$$

ここで,

$$F_d = m \cdot g$$

b.　応力評価

(a)　蓋に生じる応力

イ.　曲げ応力

蓋に生じる曲げ応力σ_bは次式より算出される。

$$\sigma_b = 1.24 \cdot \frac{p \cdot a^2}{h^2}$$

(b)　支持脚に生じる応力

イ．　圧縮応力

支持脚に生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + H_s}{S}$$

ここで,

$$S = \left\{ \left(B_{x1} \cdot B_{y1} \cdot 2 \right) + \left(B_{x2} \cdot B_{y2} \right) \right\} \cdot 4$$

支持脚の断面図を図 3-6 に示す。

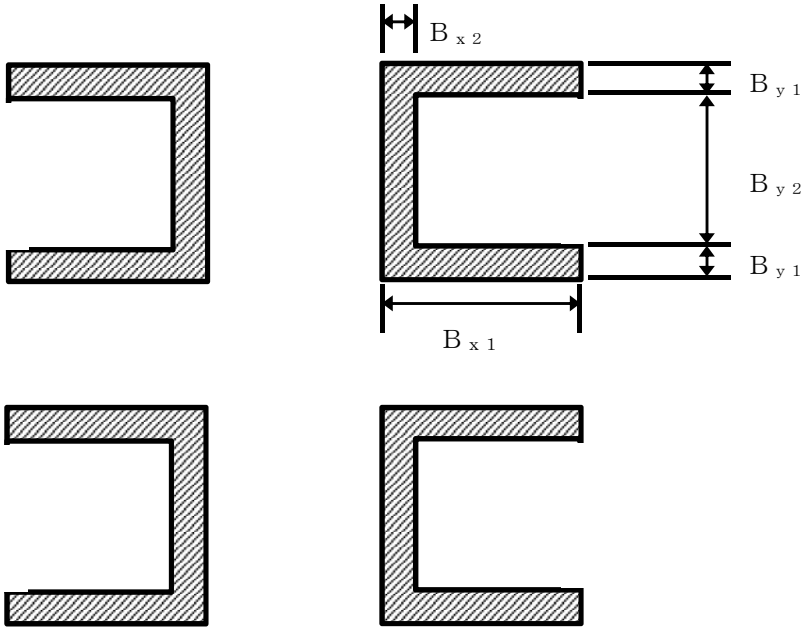


図 3-6　支持脚の断面図

(c) 基礎ボルトに生じる応力

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力σ_tは次式より算出される。

最も厳しい条件として，基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

（イ） 引張力

$$F_b = \frac{W \cdot h_g + (m \cdot g + F_v) L_H}{n_f \cdot L_1}$$

（ロ） 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは，

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力τは次式より算出される。基礎ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

（イ） せん断力

$$Q_b = W$$

（ロ） せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 評価条件

q (N/m^2)	G (－)	C (－)	V_D (m/s)	Z_b (m)	Z_G (m)
960	2.2	2.4	30	5	350

F_v' (N/m^2)	α (－)	g (m/s^2)
7565	0.15	9.80665

表 4-2 評価条件（蓋）

p (N/mm^2)	a (mm)	h (mm)
0.0103	265	18

表 4-3 評価条件(支持脚及び基礎ボルト)

A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	B_{x1} (mm)	B_{x2} (mm)	B_{y1} (mm)	B_{y2} (mm)
1.29	1.46	100	15	15	95

L_H (mm)	L_1 (mm)	m (kg)	ボルト サイズ	N (－)	n_f (－)
270	540	2050	M20	4	2

A_b (mm^2)	h_g (mm)
314.2	600

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

蓋，支持脚及び基礎ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1　ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
蓋	SCS14	曲げ	3	180
支持脚	SCS14	圧縮	2	184
基礎ボルト	SS400	引張	31	173
		せん断	3	133
		組合せ	31	173

Ⅴ-3-別添 2-1-5　ディーゼル発電機吸気口の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 4
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 12
3.3 荷重及び荷重の組合せ 13
3.4 許容限界 15
3.5 評価方法 17
4. 評価条件 35
5. 強度評価結果 37

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口（以下「ディーゼル発電機吸気口」という。）が降下火砕物等堆積時においても，ディーゼル発電機の吸気機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電機吸気口は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，ディーゼル発電機吸気口の「2.1 位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

ディーゼル発電機吸気口は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，原子炉建屋付属棟屋上に設置する。設置位置図を図 2-1 に示す。

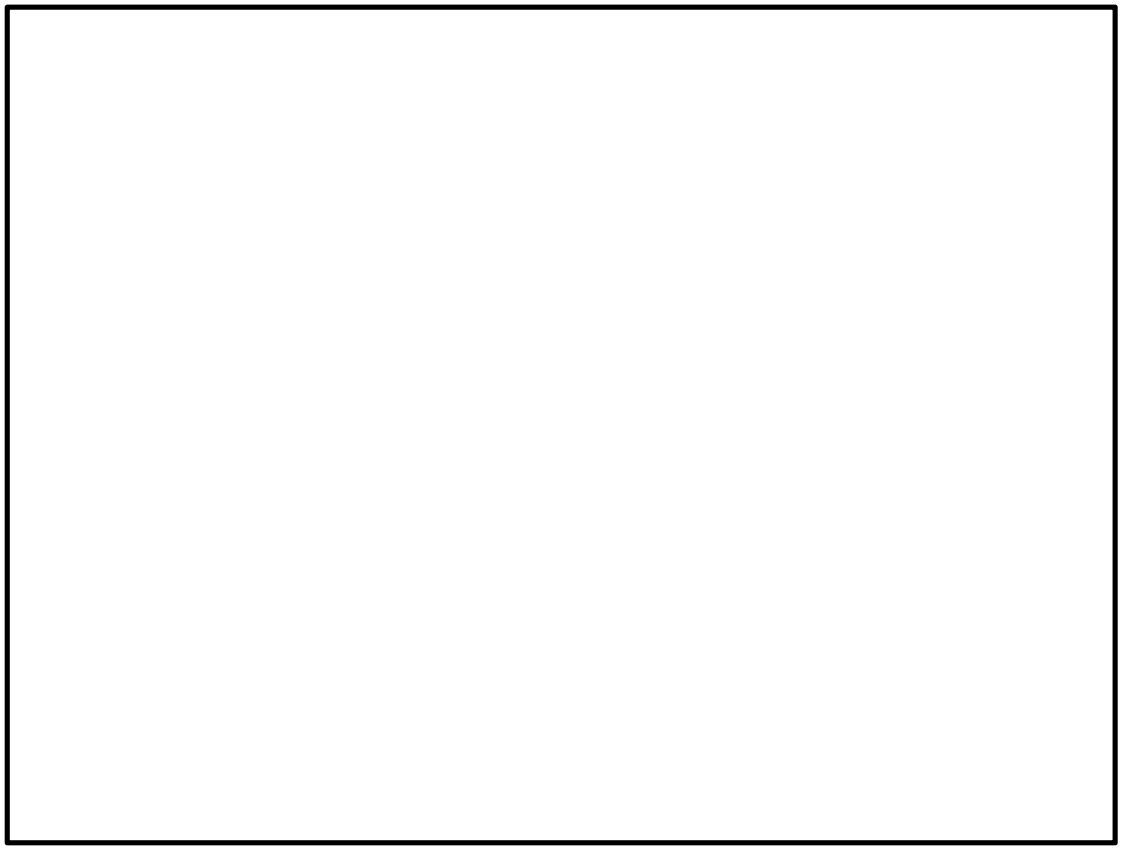


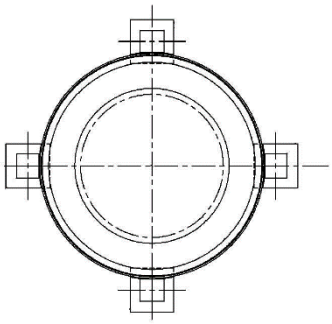
図 2-1　ディーゼル発電機吸気口　位置図

2.2　構造概要

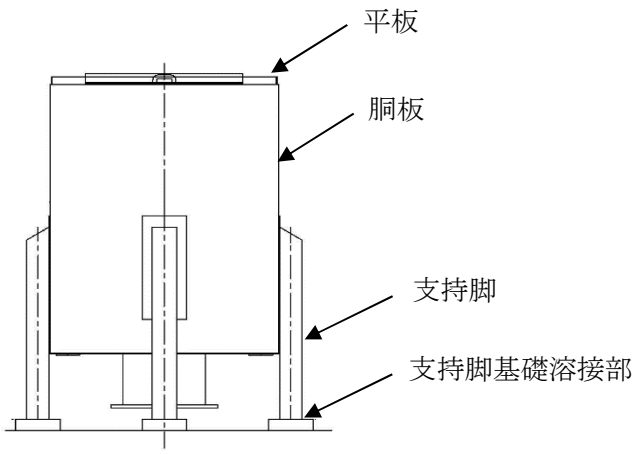
ディーゼル発電機吸気口は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

ディーゼル発電機吸気口は，ディーゼル発電機1基につき2台設置しており，同一設計の吸気口6台を設置している。降下火砕物堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のディーゼル発電機吸気口概要図を図2-2に示す。

ディーゼル発電機吸気口の構造は4脚たて置円筒型容器構造であり，胴板及び支持脚は溶接で接合しており，支持脚は基礎部に溶接により固定している。ディーゼル発電機吸気口が風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図を図2-3，降下火砕物等がディーゼル発電機吸気口に最も多く堆積することが想定される状態図を図2-4に示す。

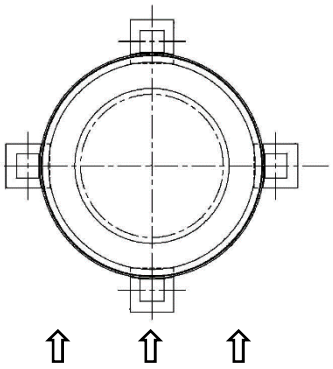


(a) 上面図



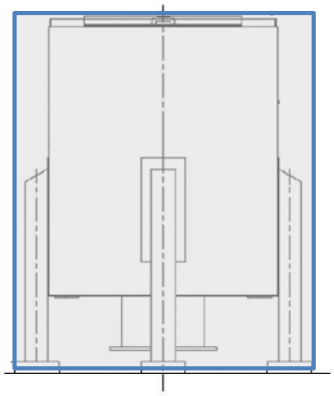
(b) 側面図

図 2-2　ディーゼル発電機吸気口の概要図



風（台風）による水平荷重の方向

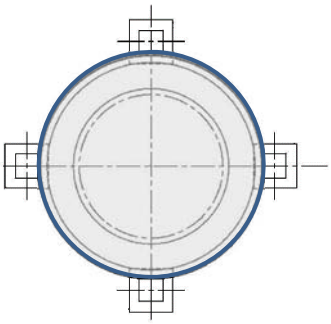
(a) 上面図



：風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面

(b) 側面図

図 2-3　風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図



：降下火砕物等

図 2-4　降下火砕物等の堆積状態図

2.3　評価方針

ディーゼル発電機吸気口の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，吸気口の評価対象部位に作用する応力が，許容限界に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機吸気口の強度評価フローを図2-3に示す。ディーゼル発電機吸気口の強度評価においては，その構造を踏まえ，降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については，吸気口上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また，風（台風）による水平荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用する。それぞれの評価については，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。ディーゼル発電機吸気口の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，設計降伏点S_y又はＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$Ⅲ_AS$とする。

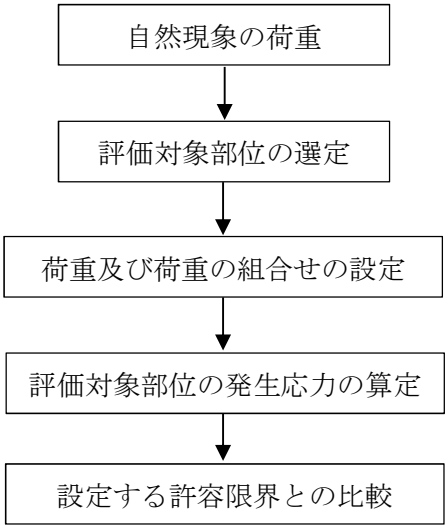


図2-3　ディーゼル発電機吸気口の強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　建築基準法及び同施行令

(2)　茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）

(3)　建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）

(4)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補 - 1984（（社）日本電気協会）

(5)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

(6)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991追補版（（社）日本電気協会）

(7)　発電用原子力設備規格 設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）

(8)　2015年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）

(9)　新版機械工学便覧（1987年　日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表3-1 ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号（1/6）

記号	単位	定義
A_1	m^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_2	m^2	降下火砕物等の堆積面積
A_s	mm^2	脚の断面積
A_{sr}	mm^2	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積
A_{st}	mm^2	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積
A_w	mm^2	支持脚基礎溶接部の有効面積
a	mm	平板の外半径
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C_1	mm	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の周方向)
C_2	mm	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2(胴の軸方向)
C_c，C_L	－	応力の補正係数
D_i	mm	胴の内径
E	MPa	胴の縦弾性係数
E’	－	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	－	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
E_s	MPa	脚の縦弾性係数
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_0	N	振動モデル系における水平力
F_d	N	運転時の状態で作用する荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積等による鉛直荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物堆積による鉛直荷重
F_s'	N/m^2	単位面積当たりの積雪による鉛直荷重
f_c	MPa	脚の許容圧縮応力
f_{br}	MPa	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力
f_{bt}	MPa	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力
f_s	MPa	脚の許容せん断応力
f_t	MPa	脚の許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
G_s	MPa	脚のせん断弾性係数
g	m/s^2	重力加速度

表3-1　ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号（2/6）

記号	単位	定義
H	m	吸気口高さ
h	mm	平板の板厚
I	mm^4	胴の断面2次モーメント
I_{sr}	mm^4	脚の半径方向軸に対する断面2次モーメント
I_{st}	mm^4	脚の周方向軸に対する断面2次モーメント
J_s	mm^4	脚のねじりモーメント係数
K_c	－	脚の胴つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数
K_L	－	胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数
K_r	－	胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数
k_L	－	アタッチメントパラメータ軸方向の補正係数
k_c	－	アタッチメントパラメータ周方向の補正係数
L	mm	脚の長さ
L_1	mm	支持脚間水平距離
L_c	mm	脚の中立軸間の距離
L_g	mm	基礎から容器上部重心までの距離
L_H	mm	重心から支持脚間の水平距離
M_1	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント
M_3	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部のねじりモーメント
M_c	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向モーメント（圧縮側）
M_L	N・mm	運転時質量による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント（引張側）
M_{L2}	N・mm	降下火砕物荷重,積雪荷重による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント（引張側）
M_x	N・mm	胴に生じる軸方向の曲げモーメント
M_ϕ	N・mm	胴に生じる周方向の曲げモーメント
m_0	kg	運転時質量
N_x	N/mm	胴に生じる軸方向の膜力
N_ϕ	N/mm	胴に生じる周方向の膜力
p	N/mm^2	平板に作用する等分布荷重
P	N	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
P_1	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
P_2	N	降下火砕物荷重及び積雪荷重による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
Q	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向荷重
Q_1	N	支持脚に作用するせん断荷重

表3-1　ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号（3/6）

記号	単位	定義
q	N/m^2	設計用速度圧
R	N	運転時質量による脚の軸力
R_1	N	風荷重(Z方向)により脚に作用する軸力
R_2	N	降下火砕物荷重及び積雪荷重により脚に作用する軸力
r_m	mm	胴の平均半径
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
t	mm	胴の板厚
T	N	支持脚に作用する引張荷重
u	mm	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離
V_D	m/s	基準風速
W_1	N	風（台風）による水平荷重
W_2	N	降下火砕物堆積による鉛直荷重
W_3	N	積雪による鉛直荷重
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
Z_{sr}	mm^3	脚の半径方向軸に対する断面係数
Z_{st}	mm^3	脚の周方向軸に対する断面係数
β, β_1, β_2 β_c, β_L	－	アタッチメントパラメータ
Δ_r	mm	運転時質量による胴の半径方向局部変位量
Δ_{r1}	mm	水平力F_0による胴の半径方向局部変位量
Δ_{x1}	mm	水平力F_0による第1脚上端の水平方向変位量
Δ_{x3}	mm	水平力F_0による第2脚上端の水平方向変位量
Δ_{y1}	mm	水平力F_0による第1脚の鉛直方向変位量
θ	rad	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角
θ_0	rad	水平力F_0による胴の中心軸の傾き角
θ_1	rad	水平力F_0による第1脚の傾き角（圧縮側）
θ_2	rad	水平力F_0による胴の第1脚つけ根部における局部傾き角
θ_3	rad	水平力F_0による第2脚の傾き角
π	－	円周率
α	－	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値

表3-1　ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号（4/6）

記号	単位	定義
σ_{0}	MPa	胴の一次一般膜応力の最大値
$\sigma_{0\phi}$	MPa	胴の周方向一次一般膜応力
σ_{0x}	MPa	胴の軸方向一次一般膜応力
σ_{1}	MPa	胴の一次応力の最大値
σ_{2}	MPa	胴の一次＋二次応力の最大値
σ_{11} ～ σ_{14}	MPa	風荷重（Ｚ方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力
σ_{15}，σ_{16}	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力
σ_{21} ～ σ_{24}	MPa	風荷重（Ｚ方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力
σ_{25}，σ_{26}	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力
σ_{s}	MPa	脚の組合せ応力の最大値
σ_{t}	MPa	支持脚基礎溶接部に生じる引張応力
σ_{s1}，σ_{s2}	MPa	運転時質量による脚の圧縮応力，曲げ応力
σ_{s3}，σ_{s4}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重による脚の圧縮応力，曲げ応力
σ_{s5} ～ σ_{s7}	MPa	風荷重（Ｚ方向）による脚の圧縮応力，曲げ応力
σ_{s8} ～ σ_{s10}	MPa	風荷重（Ｘ方向）による脚の圧縮応力，曲げ応力
σ_{sc}	MPa	脚の圧縮応力の和
σ_{sr}	MPa	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{st}	MPa	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{sx}	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の脚の組合せ応力
σ_{sz1}，σ_{sz2}	MPa	風荷重（Ｚ方向）が作用した場合の脚の組合せ応力
σ_{x}	MPa	互いに直交する垂直応力
σ_{y}	MPa	互いに直交する垂直応力
σ_{x1}	MPa	静水頭又は内圧による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi1}$	MPa	静水頭又は内圧による胴の周方向応力
σ_{x2}	MPa	運転時質量による胴の軸方向応力
σ_{x3}	MPa	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi3}$	MPa	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
σ_{x4}	MPa	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi4}$	MPa	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力
σ_{x5}	MPa	応力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力
σ_{x7}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重による胴の軸方向応力
σ_{x8}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力

表3-1　ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号（5/6）

記号	単位	定義
$\sigma_{\phi 8}$	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
$\sigma_{x 9}$	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 9}$	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力
$\sigma_{\phi 10}$，$\sigma_{x 10}$	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の局部応力
$\sigma_{\phi 11}$，$\sigma_{x 11}$	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の局部応力
$\sigma_{x 61}$，$\sigma_{x 62}$	MPa	風荷重(Ｚ方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 61}$，$\sigma_{\phi 62}$	MPa	風荷重(Ｚ方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力
$\sigma_{x 71}$，$\sigma_{x 72}$	MPa	風荷重(Ｚ方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 71}$，$\sigma_{\phi 72}$	MPa	風荷重(Ｚ方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
$\sigma_{x 81}$，$\sigma_{x 82}$	MPa	風荷重（Ｚ方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 81}$，$\sigma_{\phi 82}$	MPa	風荷重（Ｚ方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力
$\sigma_{x 91}$，$\sigma_{x 92}$	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 91}$，$\sigma_{\phi 92}$	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力
$\sigma_{x 101}$，$\sigma_{x 102}$	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 101}$，$\sigma_{\phi 102}$	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
$\sigma_{x 111}$，$\sigma_{x 112}$	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 111}$，$\sigma_{\phi 112}$	MPa	風荷重（Ｘ方向）が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力

表3-1　ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号（6/6）

記号	単位	定義
σ_{xx1}，σ_{xx2}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和
σ_{xx3}，σ_{xx4}	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の軸方向一次＋二次応力の和
σ_{xz1} ～ σ_{xz4}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和
σ_{xz5} ～ σ_{xz8}	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の軸方向一次＋二次応力の和
$\sigma_{\phi x1}$，$\sigma_{\phi x2}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の周方向一次応力の和
$\sigma_{\phi x3}$，$\sigma_{\phi x4}$	MPa	風荷重（X方向）が作用した場合の胴の周方向一次＋二次応力の和
$\sigma_{\phi z1}$ ～ $\sigma_{\phi z4}$	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次応力の和
$\sigma_{\phi z5}$ ～ $\sigma_{\phi z8}$	MPa	風荷重（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次＋二次応力の和
τ	MPa	支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力
τ_3	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力
τ_6	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力
τ_{c1}	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力
τ_{c4}	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力
τ_{L1}	MPa	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{L2}	MPa	風荷重（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{L3}	MPa	降下火砕物荷重及び積雪荷重により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{L5}	MPa	風荷重（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
τ_{xy}	MPa	σ_x，σ_yの作用する面内のせん断応力

3.2　評価対象部位

ディーゼル発電機吸気口の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，平板，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部とする。

評価対象部位は，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，最も多く降下火砕物が堆積する平板を介して平板を支持している胴板及び支持脚に作用する。また，風（台風）による水平荷重は，胴板を介して支持脚及び支持脚基礎溶接部に作用する。

このことから，降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては，平板，胴板及び支持脚を評価対象部位とする。風（台風）による水平荷重に対しては，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部を評価対象部位とする。

ディーゼル発電機吸気口の強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。

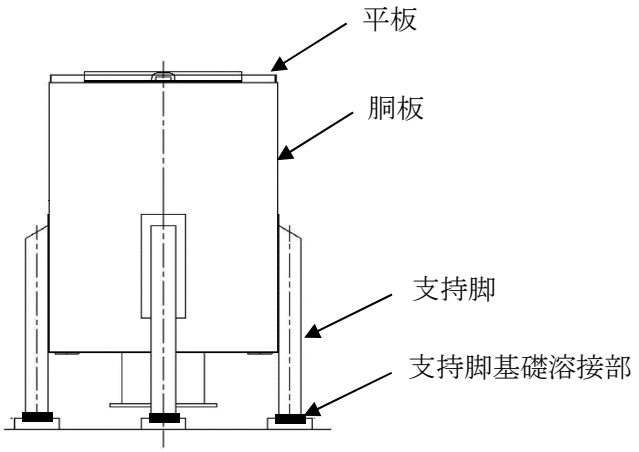


図3-1　ディーゼル発電機吸気口の評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は，自重を考慮する。

b.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v')

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，7565 N/m^2 とする。

c.　風（台風）による水平荷重（W_1）

風（台風）による水平荷重は，基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.　水平荷重」に示す式に従い，算出する。全高Hが 5 m 以下であるため，HがZ_b以下の場合の式を用いる。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図 3-2 に示す。

$$W_1 = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^{\alpha}$$

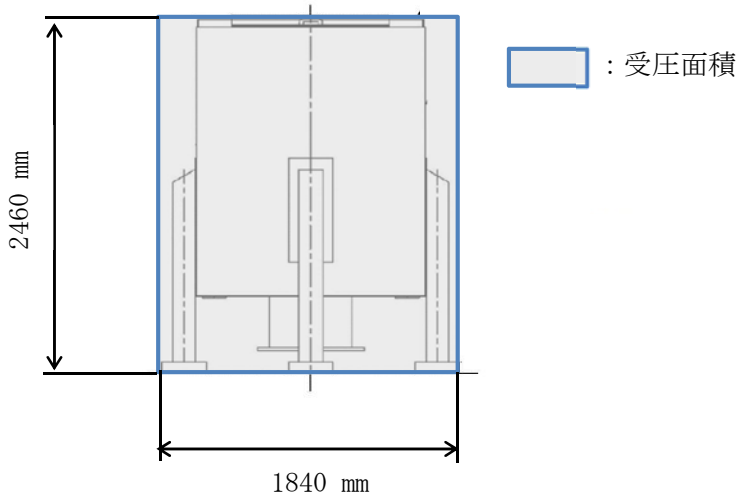


図3-2　風（台風）による水平荷重の受圧面積

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，ディーゼル発電機吸気口の評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電機吸気口には，自重，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風（台風）による水平荷重が作用する。

ディーゼル発電機吸気口の評価にて考慮する荷重の組合せを表3-2に示す。

表 3-2　荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル発電機 吸気口	平板	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	胴板	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重
	支持脚	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重
	支持脚基礎溶接部	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重

3.4　許容限界

ディーゼル発電機吸気口の許容限界値は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，設計降伏点S_y又はＪＥＡＧ４６０１に基づき許容応力状態$Ⅲ_AS$の許容応力を用いる。

ディーゼル発電機吸気口の許容限界は，平板に対しては弾性範囲である設計降伏点S_yとする。その他の評価対象部位についてはＪＥＡＧ４６０１を準用し，胴板については「クラス 2, 3 容器」，支持脚及び支持脚基礎溶接部については「クラス 2，3 支持構造物」の許容限界を適用し，許容応力状態$Ⅲ_AS$から算出した許容応力を許容限界とする。また，座屈については評価式を満足することを確認する。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機吸気口の許容限界を表 3-3，許容応力を表 3-4 に示す。

表3-3　ディーゼル発電機吸気口の許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
平板	－	曲げ		S_y
胴板	$\mathrm{III}_A S$	一次一般膜		Min（S_y，$0.6S_u$）
		一次		上欄の1.5倍
		一次＋二次		$2S_y$
支持脚	$\mathrm{III}_A S$	組合せ		$1.5f_t$
		座屈		$\sigma_{sr}/f_{br}+\sigma_{st}/f_{bt}+\sigma_{sc}/f_c \leqq 1$
支持脚基礎溶接部	$\mathrm{III}_A S$	一次	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$

支持脚については，圧縮，曲げの組合せ応力の最大値を求め，引張応力の許容値で評価する。

また，溶接部について上記応力の組合せが考えられる場合，ＪＳＭＥ SSB－3121.1(6)，SSB－3121.2を準用し，組合せ応力に対しても評価を行う。

以下に組合せ応力の許容応力の評価式を示す。

垂直応力とせん断応力を生じる構造部分の応力は，次の計算式を満足しなければならない。

$$1.5f_t \geq \sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2-\sigma_x\cdot\sigma_y+3\tau_{xy}^2}$$

表 3-4　ディーゼル発電機吸気口の許容応力

評価対象部位	材料	温度条件（℃）	S_y（MPa）	S_u（MPa）	F（MPa）	$1.5f_t$（MPa）	$1.5f_s$（MPa）
平板	SS400	50*	211	－	－	－	－
胴板	SS400	50*	241	394	－	－	－
支持脚	SS400	50*	241	394	241	241	－
支持脚基礎溶接部	SS400	50*	241	394	241	241	139

注記　＊：周囲環境温度

3.5　評価方法

ディーゼル発電機吸気口の応力評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

評価式は，ＪＥＡＧ４６０１の 4 脚たて置き円筒型容器に準拠するが，局部ばね乗数及び局部応力については，3 次元ＦＥＭモデルにより評価を行う。ＦＥＭ解析に使用するコードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」である。なお，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

(1)　評価モデル

a.　等分布荷重による評価

ディーゼル発電機吸気口平板は周辺支持円板モデルとする。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図 3-3 に示す。

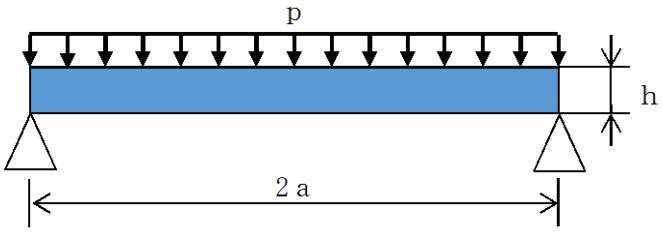


図 3-3　等分布荷重による評価に用いるモデル図

b.　1 質点系モデルによる評価

降下火砕物等堆積による鉛直荷重，自重（鉛直荷重）及び風（台風）による水平荷重に対する，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部の構造強度を 1 質点系モデルとして評価を行う。ここで，荷重の作用点はディーゼル発電機吸気口高さの 1/2 より高い重心位置に作用させる。ディーゼル発電機吸気口の 1 質点系モデル図を図 3-4 に，ディーゼル発電機吸気口の変形モード図を図 3-5 に示す。

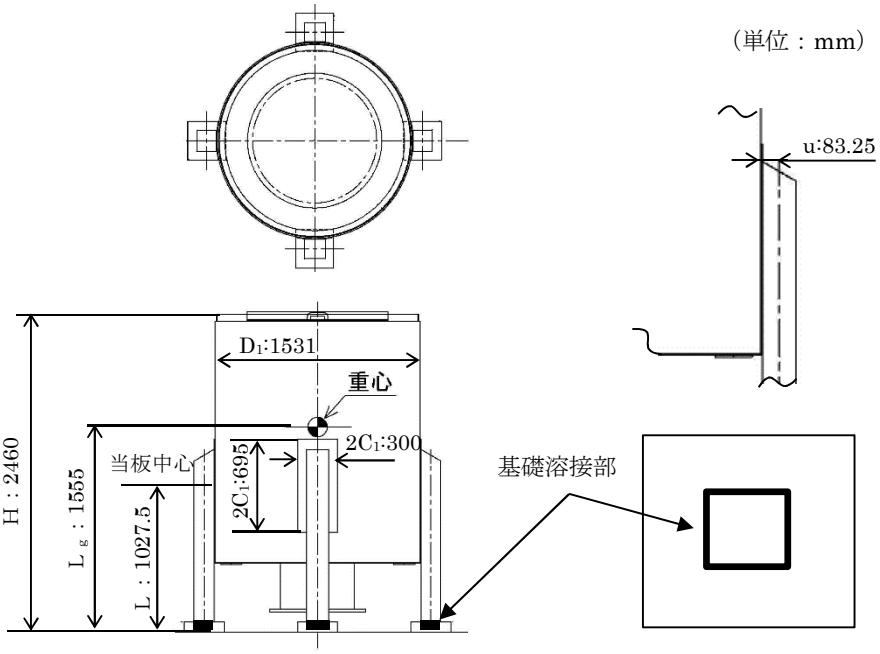


図 3-4　1 質点系モデル図

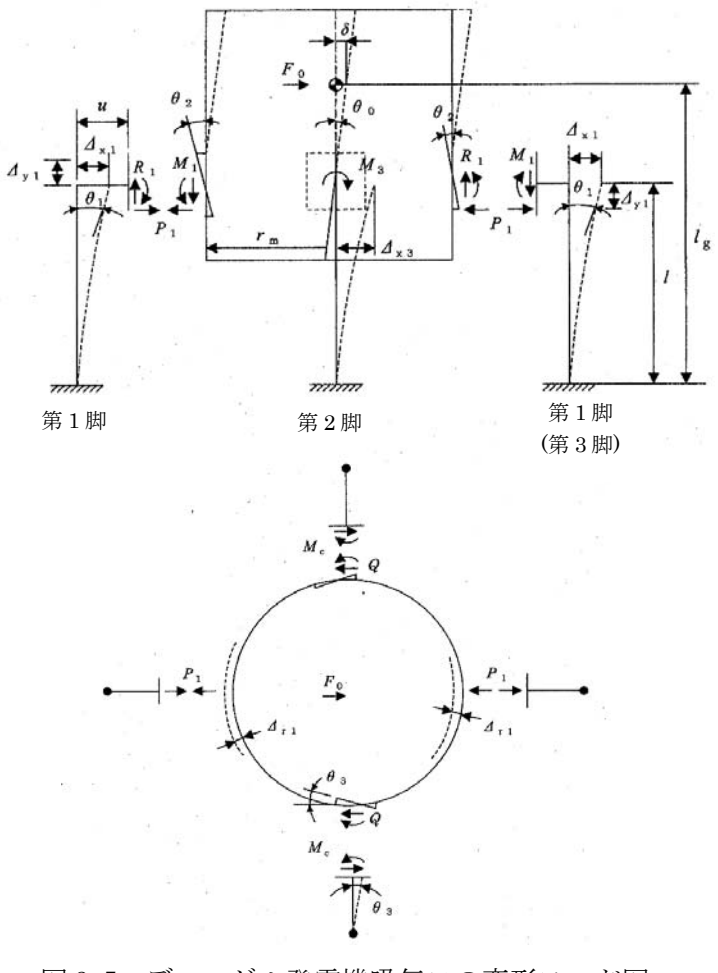


図 3-5　ディーゼル発電機吸気口の変形モード図

(2)　評価方法

a.　鉛直方向荷重

(a)　降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = W_2 + W_3$$

ここで,

$$W_2 = F_v' \cdot A_2$$

$$W_3 = F_s' \cdot A_2$$

降下火砕物等による鉛直荷重の受圧面積を図 3-6 に示す。

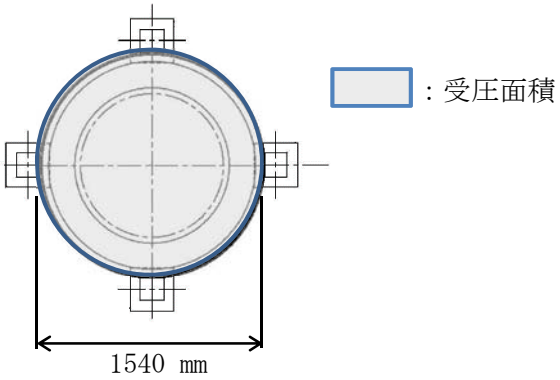


図 3-6　鉛直荷重の受圧面積

b.　応力評価

(a)　平板に生じる応力

イ.　平板に生じる曲げ応力σ_{max}は次式より算出される。

$$\sigma_{max} = 1.24 \frac{p + a^2}{h^2}$$

(b) 胴板及び支持脚

イ. 荷重の設定

水平力の釣合より

$2 \cdot P_1 + 2 \cdot Q = F_0$

転倒モーメントの釣合より

$2 \cdot M_1 - 2 \cdot M_3 + 2 \cdot R_1 \cdot r_m = F_0 (L_g - L)$

ただし，

$r_m = (D_1 + t)/2$

第1脚の水平方向変位量 Δ_{x1}，傾き角 θ_1，鉛直方向変位量 Δ_{y1}は次による。

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

ここで

$$u = \frac{L_c}{2} - r_m$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s}$$

胴の半径方向局部変位量Δ_{r1}と局部傾き角 θ_2は次による。

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E}$$

$$\theta_2 = \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

ここで，β_Lは次による。

$$\beta_L = k_L \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

第2脚の傾き角 θ_0 と水平方向変位量 Δ_{x3} は，次による。

$$\theta_0 = -\frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{st}} - \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

第1脚と胴の傾き角の釣合より

$$\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0$$

第2脚のねじり角と局部傾き角は等しいことから

$$\theta_3 = \frac{(Q \cdot u - M_c)L}{G_s \cdot J_s} = \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E}$$

ここで，β_c は次による。

$$\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

脚と胴の水平方向変位の釣合より

$$\Delta_{x1} + \Delta_{r1} = \Delta_{x3} + u \cdot \theta_3$$

さらに鉛直方向変位の釣合より

$$\Delta_{y1} - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0$$

式を代入して

$$\frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s} - \frac{u(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{u \cdot P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{r_m \cdot M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{r_m \cdot Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} = 0$$

式を代入して

$$\frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_1^2 \cdot E} + \frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} = 0$$

式を変形して

$$\frac{u \cdot Q \cdot L}{G_s \cdot J_s} - \frac{M_c \cdot L}{G_s \cdot J_s} - \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} = 0$$

式を代入して

$$\frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E}$$
$$- \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{st}} + \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} - \frac{u \cdot K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} = 0$$

したがって，6 変数P_1，Q，R_1，M_1，M_3，M_cに対して上記式を連立させることにより方程式ができる。

ロ．　胴の応力計算

（イ）　静水頭又は内圧による応力

ディーゼル発電機吸気口に静水頭，内圧は発生しないため，$\sigma_{\phi 1}$及びσ_{x1}は 0 となる。

（ロ）　運転時質量及び降下火砕物と積雪荷重による応力

$$\sigma_{x2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi (D_i + t)\, t}$$

$$\sigma_{x7} = \frac{F_v}{\pi (D_i + t)\, t}$$

（ハ）　運転時質量による胴の脚つけ根部の応力

脚下端が固定の場合，軸力Rは次による。

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4}$$

脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形を図 3-7 に示す。

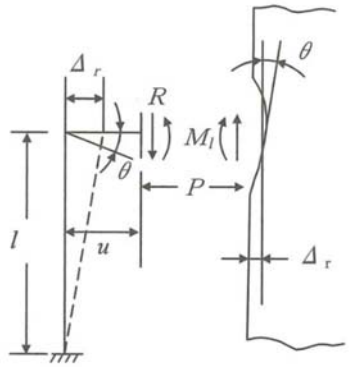


図 3-7　脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形

脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいことから

$$\Delta_r = \frac{-P \cdot L^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(R \cdot u - M_L)L^2}{2E_s \cdot I_{st}} = \frac{K_r \cdot P}{r_m \cdot E}$$

また，脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta = \frac{(R \cdot u - M_L)L}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{P \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} = \frac{K_L \cdot M_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

したがって

$$M_L = \frac{\left(\frac{L^3}{12E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}\right)\frac{m_0 \cdot g \cdot u \cdot L}{4E_s \cdot I_{st}}}{\left(\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}\right)\left(\frac{L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}\right) - \left(\frac{L^2}{2E_s \cdot I_{st}}\right)^2}$$

$$P = \frac{\frac{\frac{m_0 \cdot g}{4}u - M_L}{2E_s \cdot I_{st}}L^2}{\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}}$$

鉛直方向モーメントM_Lにより生じる胴の局部応力は，図 3-8 に示す 3 次元ＦＥＭモデルより求める(以下*を付記する)ことにより算定する。

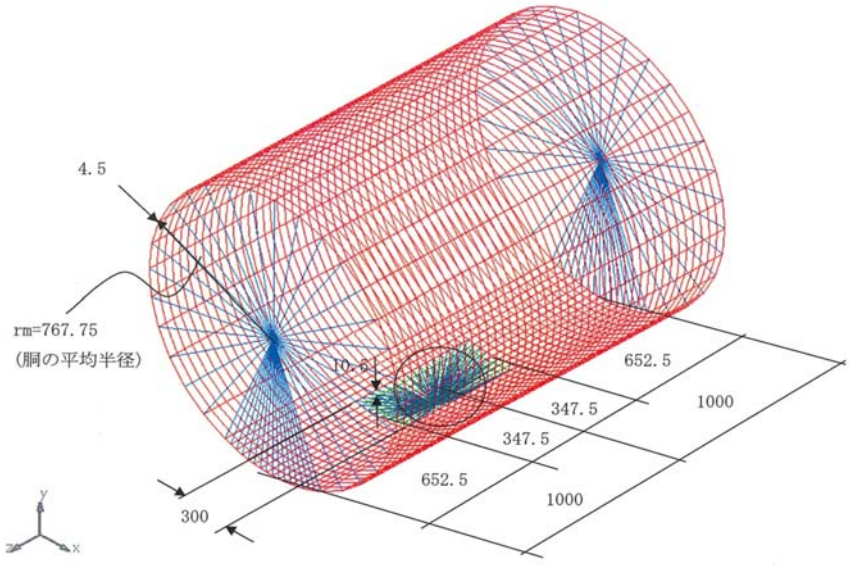


図 3-8　3 次元ＦＥＭモデル図

$$\sigma_{\phi 3}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_L/(r_m{}^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_L}{r_m{}^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L{}^{*}$$

$$\sigma_{x3}=\left[\frac{N_x}{M_L/(r_m{}^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_L}{r_m{}^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L{}^{*}$$

半径方向荷重Ｐにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 4}=\left[\frac{N_{\phi}}{P/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P}{r_m\cdot t}\right)$$

$$\sigma_{x4}=\left[\frac{N_x}{P/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P}{r_m\cdot t}\right)$$

反力Ｒによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L1}=\frac{R}{4C_2\cdot t}$$

（ニ）　風荷重による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x5}=\frac{W_1(L_g-L)(D_i+2t)}{2I}$$

（ホ）　Ｚ方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

（ｉ）　一次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 61}=\left[\frac{N_{\phi}}{P_1/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P_1}{r_m\cdot t}\right)$$

$$\sigma_{x61}=\left[\frac{N_x}{P_1/r_m}\right]^{*}\left(\frac{P_1}{r_m\cdot t}\right)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 71}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_1/(r_m{}^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_1}{r_m{}^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L{}^{*}$$

$$\sigma_{x71}=\left[\frac{N_x}{M_1/(r_m{}^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_1}{r_m{}^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L{}^{*}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 81}=\left[\frac{N_{\phi}}{M_c/(r_m{}^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_c}{r_m{}^2\cdot t\cdot\beta_c}\right)C_c{}^{*}$$

$$\sigma_{x81}=\left[\frac{N_x}{M_c/(r_m{}^2\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{M_c}{r_m{}^2\cdot t\cdot\beta_c}\right)C_c{}^{*}$$

ここで，β_cは次式による。

$$\beta_c=\sqrt[3]{\beta_1{}^2\cdot\beta_2}$$

周方向せん断力Qによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{c1}=\frac{Q}{4C_1\cdot t}$$

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L2}=\frac{R_1}{4C_2\cdot t}$$

ねじりモーメントM_3により生じる胴の局部せん断応力は，次による。

$$\tau_3=\frac{M_3}{2\pi\cdot C_1{}^2\cdot t}$$

（ⅱ） 二次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 62}=\left[\frac{M_{\phi}}{P_1}\right]^{*}\left(\frac{6P_1}{t^2}\right)$$

$$\sigma_{x62}=\left[\frac{M_x}{P_1}\right]^{*}\left(\frac{6P_1}{t^2}\right)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 72}=\left[\frac{M_{\phi}}{M_1/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_1}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_L}\right)$$

$$\sigma_{x72}=\left[\frac{M_x}{M_1/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_1}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_L}\right)$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 82}=\left[\frac{M_{\phi}}{M_c/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_c}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_c}\right)$$

$$\sigma_{x82}=\left[\frac{M_x}{M_c/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_c}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_c}\right)$$

(へ)　X方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

（ⅰ）　一次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 91}=\sigma_{\phi 61}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x91}=\sigma_{x61}/\sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 101}=\sigma_{\phi 71}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x101}=\sigma_{x71}/\sqrt{2}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 111}=\sigma_{\phi 81}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x111}=\sigma_{x81}/\sqrt{2}$$

周方向せん断力 Qによるせん断応力は，次による。

$$\tau_{c4}=\tau_{c1}/\sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は，次による。

$$\tau_{L5}=\tau_{L2}/\sqrt{2}$$

ねじりモーメントM_3により生じる胴の局部せん断応力は，次による。

$$\tau_6=\tau_3/\sqrt{2}$$

（ⅱ）　二次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 92}=\sigma_{\phi 62}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x92}=\sigma_{x62}/\sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 102}=\sigma_{\phi 72}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x102}=\sigma_{x72}/\sqrt{2}$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 112}=\sigma_{\phi 82}/\sqrt{2}$$

$$\sigma_{x112}=\sigma_{x82}/\sqrt{2}$$

（ト） 降下火砕物と積雪荷重による胴の脚つけ根部の応力

脚下端を固定する場合の軸力R_2，胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメントM_{L2}及び半径方向荷重P_2は，次による。

$$R_2=\frac{W_2+W_3}{4}$$

$$M_{L2}=\frac{\left(\frac{L^3}{12E_s\cdot I_{st}}+\frac{L}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right)\frac{R_2\cdot u\cdot L}{E_s\cdot I_{st}}}{\left(\frac{L^3}{3E_s\cdot I_{st}}+\frac{L}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right)\left(\frac{L}{E_s\cdot I_{st}}+\frac{K_L}{r_m^3\cdot\beta_L^2\cdot E}\right)-\left(\frac{L^2}{2E_s\cdot I_{st}}\right)^2}$$

$$P_2=\frac{\frac{R_2\cdot u-M_{L2}}{2E_s\cdot I_{st}}L^2}{\frac{L^3}{3E_s\cdot I_{st}}+\frac{L}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}}$$

（ｉ） 一次応力

鉛直方向曲げモーメント M_{L2}により生じる胴の局部曲げ応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 8}=\left[\frac{N_\phi}{M_{L2}/(r_m^2\cdot\beta)}\right]^*\left(\frac{M_{L2}}{r_m^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L$$

$$\sigma_{x8}=\left[\frac{N_x}{M_{L2}/(r_m^2\cdot\beta)}\right]^*\left(\frac{M_{L2}}{r_m^2\cdot t\cdot\beta_L}\right)C_L$$

半径方向荷重P_2により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 9}=\left[\frac{N_\phi}{P_2/r_m}\right]^*\left(\frac{P_2}{r_m\cdot t}\right)$$

$$\sigma_{x9}=\left[\frac{N_x}{P_2/r_m}\right]^*\left(\frac{P_2}{r_m\cdot t}\right)$$

（ⅱ） 二次応力

鉛直方向曲げモーメントM_{L2}により生じる胴の局部応力は次による。

$$\sigma_{\phi 10}=\left[\frac{M_{\phi}}{M_{L2}/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_{L2}}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_L}\right)$$

$$\sigma_{x10}=\left[\frac{M_{x}}{M_{L2}/(r_m\cdot\beta)}\right]^{*}\left(\frac{6M_{L2}}{r_m\cdot t^2\cdot\beta_L}\right)$$

半径方向荷重P_2により生じる胴の局部応力は，次による。

$$\sigma_{\phi 11}=\left[\frac{M_{\phi}}{P_2}\right]^{*}\left(\frac{6P_2}{t^2}\right)$$

$$\sigma_{x11}=\left[\frac{M_{x}}{P_2}\right]^{*}\left(\frac{6P_2}{t^2}\right)$$

せん断応力は，次による。

$$\tau_{L3}=\frac{R_2}{4C_2\cdot t}$$

（チ） 組合せ応力

（イ）～（ト）項によって算出される脚つけ根部に生じる胴の応力は，次により組み合わせる。

（ⅰ） 一次一般膜応力

$\sigma_{0\Phi}=\sigma_{\Phi 1}$

$\sigma_{0X}=\sigma_{X1}+\sigma_{X2}+\sigma_{X5}+\sigma_{X7}$

$\sigma_{0}=\mathrm{max}\left[\sigma_{0\Phi}\cdot\sigma_{0X}\right]$

（ⅱ） 一次応力（膜＋曲げ）

胴の評価点を図 3-9 に示す。

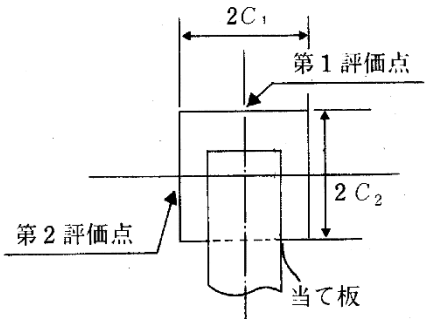


図 3-9　胴の評価点

【Z方向荷重が作用した場合】

・第1脚つけ根部

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi z1}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 71}$$

$$\sigma_{xz1}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x7}+\sigma_{x8}+\sigma_{x9}+\sigma_{x61}+\sigma_{x71}$$

$$\sigma_{11}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z1}+\sigma_{xz1})+\sqrt{(\sigma_{\phi z1}-\sigma_{xz1})^2}\right\}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi z2}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 61}$$

$$\sigma_{xz2}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x7}+\sigma_{x9}+\sigma_{x61}$$

$$\sigma_{12}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z2}+\sigma_{xz2})+\sqrt{(\sigma_{\phi z2}-\sigma_{xz2})^2+4(\tau_{L1}+\tau_{L2}+\tau_{L3})^2}\right\}$$

・第2脚つけ根部

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi z3}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}$$

$$\sigma_{xz3}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}+\sigma_{x7}+\sigma_{x8}+\sigma_{x9}$$

$$\sigma_{13}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z3}+\sigma_{xz3})+\sqrt{(\sigma_{\phi z3}-\sigma_{xz3})^2+4(\tau_{c1}+\tau_{3})^2}\right\}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi z4}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 81}$$

$$\sigma_{xz4}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x7}+\sigma_{x9}+\sigma_{x81}$$

$$\sigma_{14}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi z4}+\sigma_{xz4})+\sqrt{(\sigma_{\phi z4}-\sigma_{xz4})^2+4(\tau_{L1}+\tau_{3}+\tau_{L3})^2}\right\}$$

【X方向荷重及び降下火砕物荷重，積雪荷重が作用した場合】

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi x 1}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 101}$$

$$\sigma_{x x 1}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 3}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 7}+\sigma_{x 8}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 91}+\sigma_{x 101}$$

$$\sigma_{15}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi x 1}+\sigma_{x x 1})+\sqrt{(\sigma_{\phi x 1}-\sigma_{x x 1})^2+4(\tau_{c 4}+\tau_6)^2}\right\}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi x 2}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 111}$$

$$\sigma_{x x 2}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 7}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 91}+\sigma_{x 111}$$

$$\sigma_{16}=\frac{1}{2}\left\{(\sigma_{\phi x 2}+\sigma_{x x 2})+\sqrt{(\sigma_{\phi x 2}-\sigma_{x x 2})^2+4(\tau_{L 1}+\tau_{L 5}+\tau_6+\tau_{L 3})^2}\right\}$$

$$\sigma_1=\max[\sigma_{11},\ \sigma_{12},\ \sigma_{13},\ \sigma_{14},\ \sigma_{15},\ \sigma_{16}]$$

（ⅲ） 組合せ一次＋二次応力

【Z方向荷重及び降下火砕物荷重，積雪荷重が作用した場合】

・第1脚つけ根部

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi z 5}=\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 10}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 62}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72}$$

$$\sigma_{x z 5}=\sigma_{x 7}+\sigma_{x 8}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 10}+\sigma_{x 11}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 61}+\sigma_{x 62}+\sigma_{x 71}+\sigma_{x 72}$$

$$\sigma_{21}=\sigma_{\phi z 5}+\sigma_{x z 5}+\sqrt{(\sigma_{\phi z 5}-\sigma_{x z 5})^2}$$

（第2評価点）

$$\sigma_{\phi z 6}=\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 62}$$

$$\sigma_{x z 6}=\sigma_{x 7}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 11}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 61}+\sigma_{x 62}$$

$$\sigma_{22}=\sigma_{\phi z 6}+\sigma_{x z 6}+\sqrt{(\sigma_{\phi z 6}-\sigma_{x z 6})^2+4(\tau_{L 2}+\tau_{L 3})^2}$$

・第2脚つけ根部

（第1評価点）

$$\sigma_{\phi z 7}=\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 10}+\sigma_{\phi 11}$$

$$\sigma_{x z 7}=\sigma_{x 7}+\sigma_{x 8}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 10}+\sigma_{x 11}$$

$$\sigma_{23}=\sigma_{\phi z 7}+\sigma_{x z 7}+\sqrt{(\sigma_{\phi z 7}-\sigma_{x z 7})^2+4(\tau_{c 1}+\tau_3)^2}$$

（第２評価点）

$$\sigma_{\phi z 8} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 81} + \sigma_{\phi 82}$$

$$\sigma_{x z 8} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 81} + \sigma_{x 82}$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{\phi z 8} + \sigma_{x z 8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 8} - \sigma_{x z 8})^2 + 4(\tau_3 + \tau_{L3})^2}$$

【Ｘ方向荷重が作用した場合】

（第１評価点）

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 102}$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 102}$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4(\tau_{c4} + \tau_6)^2}$$

（第２評価点）

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 112}$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 112}$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4(\tau_{L5} + \tau_6 + \tau_{L3})^2}$$

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}]$$

ハ．　脚の応力計算

（イ）　運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R}{A_s}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\max[|R \cdot u - M_L - P \cdot L|, |R \cdot u - M_L|]}{Z_{st}}$$

（ロ）　降下火砕物荷重，積雪荷重による応力

$$\sigma_{s3} = \frac{R_2}{A_s}$$

$$\sigma_{s4} = \frac{\max[|R_2 \cdot u - M_{L2} - P_2 \cdot L|, |R_2 \cdot u - M_{L2}|]}{Z_{st}}$$

（ハ） 風荷重（Z方向）による応力

（ⅰ） 第1脚

$$\sigma_{s5}=\frac{R_1}{A_s}$$

$$\sigma_{s6}=\frac{\max\left[\left|R_1\cdot u-M_1-P_1\cdot L\right|,\left|R_1\cdot u-M_1\right|\right]}{Z_{st}}$$

（ⅱ） 第2脚

$$\sigma_{s7}=\frac{\max\left[\left|Q\cdot L-M_3\right|,\left|M_3\right|\right]}{Z_{sr}}$$

（ⅲ） X方向荷重による応力

$$\sigma_{s8}=\frac{R_1}{\sqrt{2}\cdot A_s}$$

$$\sigma_{s9}=\frac{\max\left[\left|R_1\cdot u-M_1-P_1\cdot L\right|,\left|R_1\cdot u-M_1\right|\right]}{\sqrt{2}\cdot Z_{st}}$$

$$\sigma_{s10}=\frac{\max\left[\left|Q\cdot L-M_3\right|,\left|M_3\right|\right]}{\sqrt{2}\cdot Z_{sr}}$$

（ニ） 組合せ応力

脚の最大応力は，下記式による。

（ⅰ） Z方向荷重及び降下火砕物荷重，積雪荷重が作用した場合

・ 第1脚

$$\sigma_{sz1}=\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s5}+\sigma_{s6}$$

・ 第2脚

$$\sigma_{sz2}=\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s7}$$

（ⅱ） X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sx}=\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s8}+\sigma_{s9}+\sigma_{s10}$$

$$\sigma_s=\max\left[\sigma_{sz1},\ \sigma_{sz2},\ \sigma_{sx}\right]$$

（ホ） 組合せ圧縮応力

（ⅰ） Z方向荷重が作用した場合

・ 第1脚

$$\sigma_{sc}=\sigma_{s1}+\sigma_{s3}+\sigma_{s5}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s6}$$

$$\sigma_{sr} = 0$$

・ 第2脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4}$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s7}$$

（ⅱ） X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s8}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s9}$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s10}$$

圧縮と曲げの組合せについて，座屈評価用の式を次式より求める。

$$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leqq 1$$

ニ. 支持脚基礎溶接部の応力計算

（イ） 引張応力の算出

風圧力による荷重W_1によるモーメントMにより，2 本の支持脚には吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重Tが作用する。

モーメントの釣り合いを考えると，

$$M = W_1 \cdot L_g + (m_0 \cdot g + F_v) L_H = 2 \cdot T \cdot L_1$$

よって，吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重Tは以下のようになる。

$$T = \frac{W_1 \cdot L_g + (m_0 \cdot g + F_v) L_H}{2L_1}$$

吸気口の支持脚基礎溶接部に生じる引張応力σ_tは以下のようになる。

$$\sigma_t = \frac{T}{A_w} = \frac{W_1 \cdot L_g + (m_0 \cdot g + F_v) L_H}{2L_1 \cdot A_W}$$

（ロ） せん断応力の算出

吸気口の支持脚基礎溶接部に作用するせん断荷重Qは以下のようになる。

$$Q_1 = \frac{W_1}{4}$$

よって，吸気口の支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力τは以下のようになる。

$$\tau = \frac{Q_1}{A_W} = \frac{W_1}{4A_w}$$

（ハ） 組合せ応力の算出

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 3\tau^2}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1　評価条件（風（台風）による水平荷重）

q (N/m^2)	G (－)	C (－)	V_D (m/s)	Z_b (m)	Z_G (m)
960	2.2	1.2	30	5	350

F_v' (N/m^2)	α (－)	g (m/s^2)	A_1 (m^2)
7565	0.15	9.80665	4.526

表 4-2　評価条件（平板）

p (N/mm^2)	a (mm)	h (mm)
0.0153	770.0	100.0

表 4-3　評価条件（胴板及び支持脚）（1/2）

A_s (mm^2)	A_{sr} (mm^2)	A_{st} (mm^2)	C_1 (mm)	C_2 (mm)	D_i (mm)
8550	4336	4728	150.0	347.5	1531

E (MPa)	E_s (MPa)	F_0 (N)	G_s (MPa)	I (mm^4)	I_{sr} (mm^4)
201000	201000	1	77300	6.398×10^9	3.155×10^7

I_{st} (mm^4)	J_s (mm^4)	L (mm)	L_c (mm)	L_g (mm)	m_0 (kg)
2.697×10^7	4.316×10^7	1027.5	1702.0	1555.0	1800

表 4-3　評価条件（胴板及び支持脚）(2/2)

r_m (mm)	t (mm)	W_1 (N)	W_2 (N)	W_3 (N)	Z_{sr} (mm^3)
767.8	4.5	5214	13800	393	3.824×10^5

Z_{st} (mm^3)
3.569×10^5

表 4-4　評価条件（支持脚基礎溶接部）

W_1 (N)	F_v (N)	L_g (mm)	m_0 (kg)	L_H (mm)	L_1 (mm)
5214	14193	1555.0	1800	601.75	1203.5

A_w (mm^2)
4455

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

平板，胴板，支持脚及び支持脚基礎溶接部に発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1　ディーゼル発電機吸気口の評価結果

評価部位	材料	応力		発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
平板	SS400	曲げ		2	211
胴板	SS400	一次一般膜		2	236
		一次		5	354
		一次＋二次		10	482
支持脚	SS400	組合せ		5	241
		座屈（圧縮＋曲げ）*		0.03	1
支持脚基礎溶接部	SS400	一次	引張	3	241
			せん断	1	139
			組合せ	4	241

注記　＊：検定比（下式）による。

$$\sigma_{sr}/f_{br}+\sigma_{st}/f_{bt}+\sigma_{sc}/f_{c}\leqq 1$$

Ⅴ-3-別添 2-1-6　ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 4
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 8
3.3 荷重及び荷重の組合せ 9
3.4 許容限界 12
3.5 評価方法 13
4. 評価条件 19
5. 強度評価結果 21

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン（以下「ディーゼル発電機室ルーフベントファン」という。）が降下火砕物堆積時においても，ディーゼル発電機室内の空気を排出する機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，ディーゼル発電機室ルーフベントファンの「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，原子炉建屋付属棟屋上に設置する。設置位置図を図 2-1 に示す。

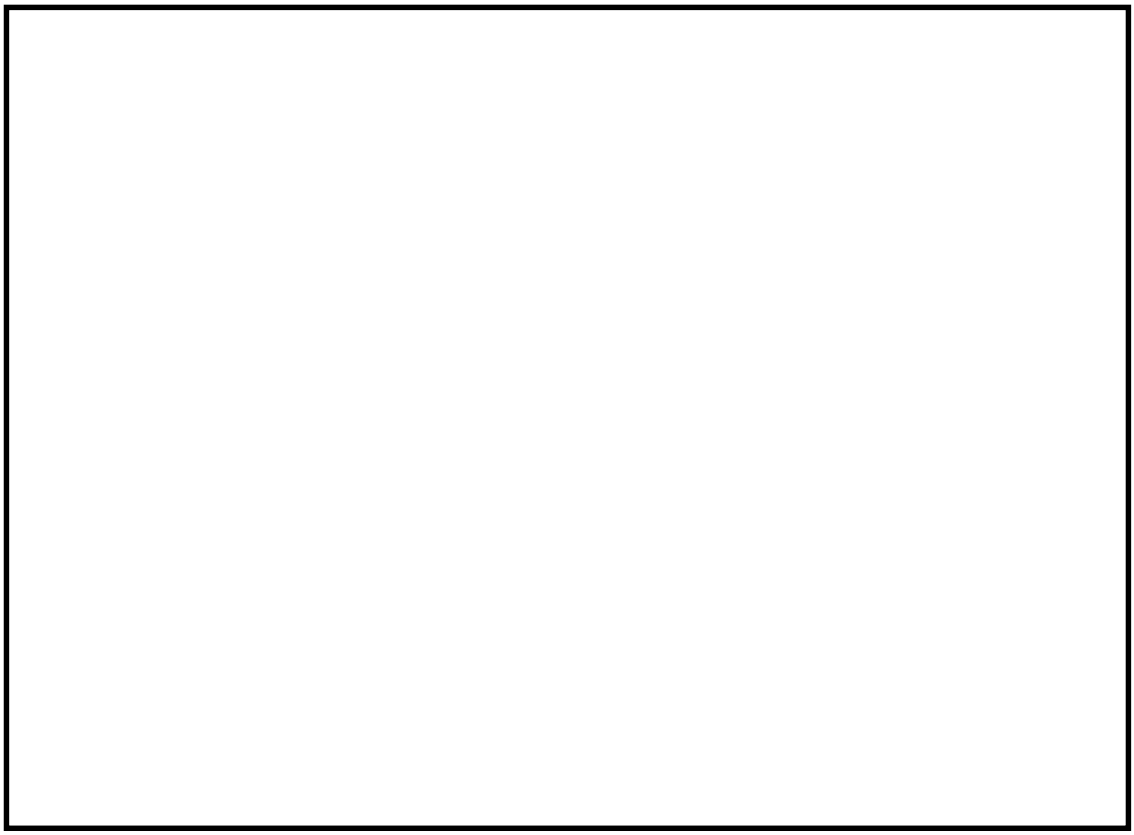


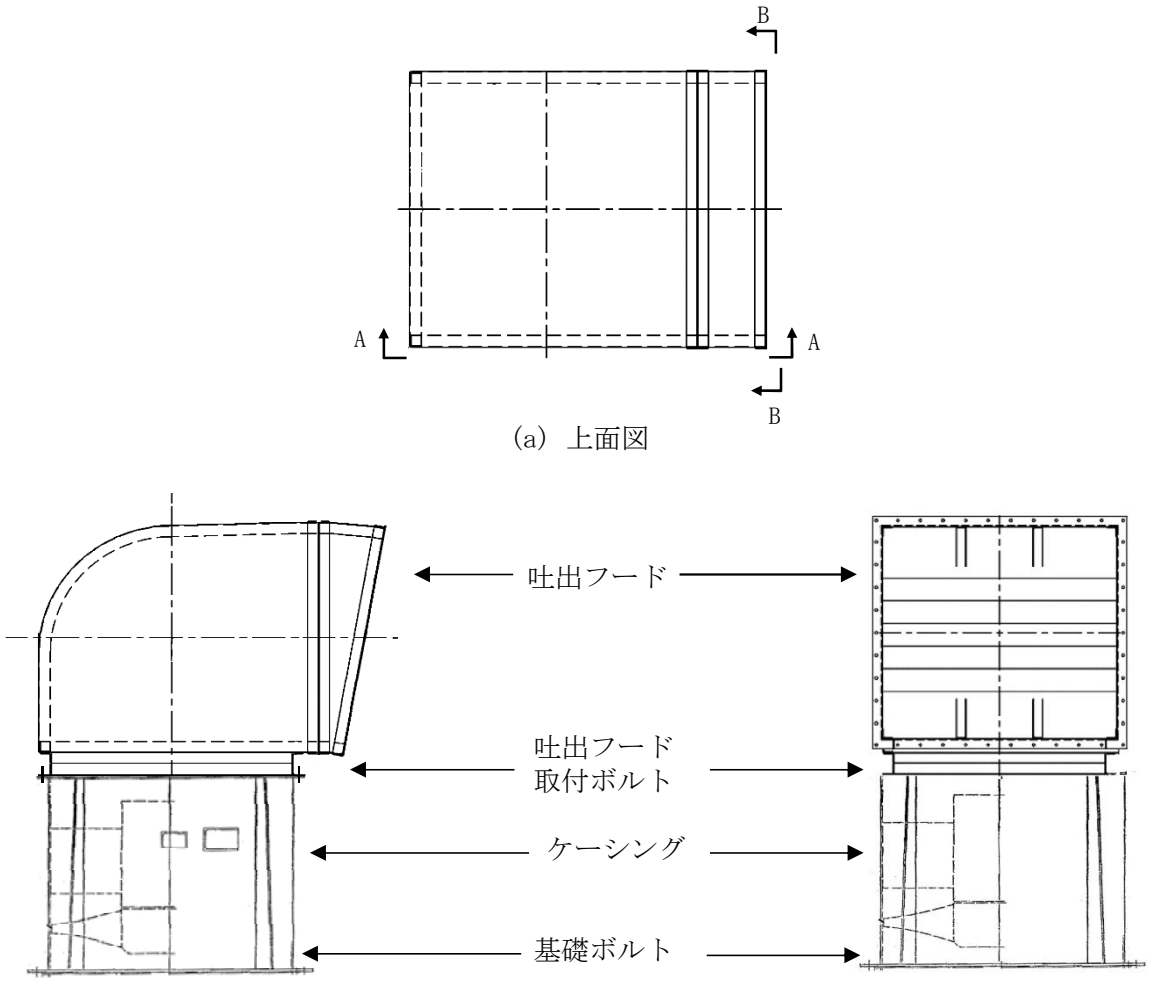
図 2-1 ディーゼル発電機室ルーフベントファン　位置図

2.2　構造概要

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは，添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，構造を設定する。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは，据付面からケーシングまでのファン部と，ケーシングより上部の吐出フードからなる軸流ファンであり，同一設計のディーゼル発電機室ルーフベントファンを２Ｃ非常用ディーゼル発電機室用，２Ｄ非常用ディーゼル発電機室用及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室用にそれぞれ 2 台，計 6 台を設置している。降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のディーゼル発電機室ルーフベントファンの概要図を図 2-2 に示す。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの形状は，円筒形を基本としたケーシングに吐出フードを取付ボルトで接合しており，ケーシングは基礎部に基礎ボルトで固定している。ディーゼル発電機室ルーフベントファンが風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図を図 2-3，降下火砕物等がディーゼル発電機室ルーフベントファンに最も多く堆積することが想定される状態図を図 2-4 に示す。

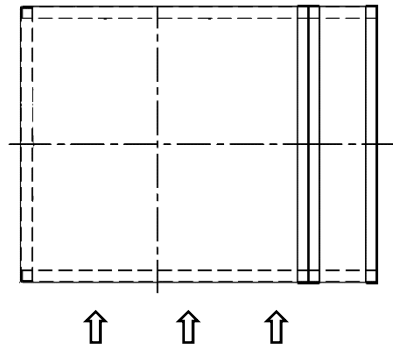


(a) 上面図

(b) 側面図（A-A 矢視）

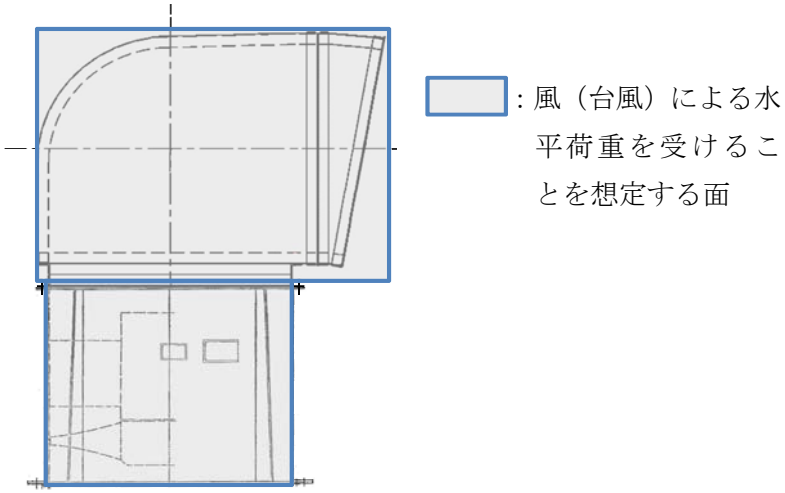
(c) 側面図（B-B 矢視）

図 2-2　ディーゼル発電機室ルーフベントファンの概要図



風（台風）による水平荷重の方向

(a) 上面図



(b) 側面図

図 2-3　風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図

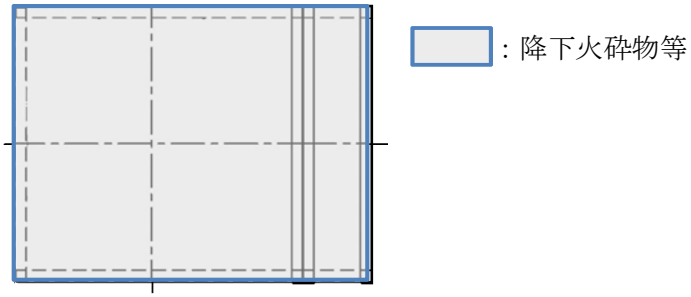


図 2-4　降下火砕物等の堆積状態図

2.3　評価方針

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，評価対象部位に作用する応力が許容限界に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価フローを図2-5に示す。ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価においては，その構造を踏まえ，降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については，ディーゼル発電機室ルーフベントファン上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また，風（台風）による水平荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に示す評価式を用いる。ディーゼル発電機室ルーフベントファンの許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」に示す許容限界である，設計降伏点S_y又はＪＥＡＧ４６０１の許容応力状態$Ⅲ_AS$とする。

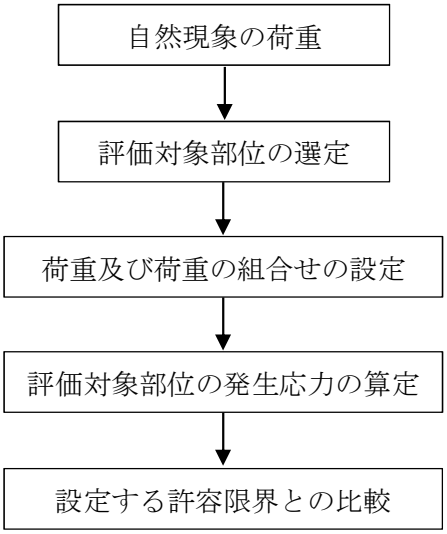


図2-5　ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　建築基準法及び同施行令

(2)　茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）

(3)　建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）

(4)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補 - 1984（（社）日本電気協会）

(5)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

(6)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991追補版（（社）日本電気協会）

(7)　発電用原子力設備規格 設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）

(8)　2015年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）

(9)　新版機械工学便覧（1987年　日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
a	mm	天板の短辺
A_1	m^2	吐出フードの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_1'	m^2	ケーシングの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_2	m^2	降下火砕物の堆積面積
A_b	mm^2	ボルトの軸断面積
B_1	mm	ケーシング外径
B_2	mm	ケーシング内径
C_1	－	吐出フードの風力係数
C_2	－	ケーシングの風力係数
E’	－	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
E_r	－	建設省告示第1454号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_b	N	ボルトに対する引張力
F_d	N	常時作用する荷重
F_i	N	各ボルトに作用する引張力
F_n	N	ボルトに作用する最大引張力
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容圧縮応力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	ルーフベントファン（全高）
h	mm	取付面から荷重作用点までの距離
h_t	mm	天板厚さ

表3-1　ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
L_1～L_7	mm	支点と評価ボルト間の距離
L_i	mm	各ボルト間の距離
L_n	mm	各ボルト間のうち最長距離
M	N･mm	ファンに作用するモーメント
m	kg	質量
N	－	ボルトの本数
p	N/mm^2	天板に作用する等分布荷重
Q_b	N	ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
S	mm^2	ケーシングの断面積
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
V_D	m/s	基準風速
W	N	風荷重による複合荷重
Z_b	m	地表面祖度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
Z_G	m	地表面祖度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
β	－	天板の最大応力の係数（機械工学便覧から算出）
π	－	円周率
σ_b	MPa	吐出フード天板に生じる曲げ応力
σ_c	MPa	ケーシングに生じる圧縮応力
σ_t	MPa	ボルトに生じる引張応力
α	－	地表面祖度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
τ	MPa	ボルトに生じるせん断応力

3.2　評価対象部位

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，吐出フード天板，ケーシング，吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，最も多く降下火砕物が堆積する吐出フード天板を介して支持している吐出フード及びケーシングに作用する。また，風（台風）による水平荷重は吐出フード及びケーシングを介してケーシングに固定されている吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに作用する。

このことから，降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては，吐出フード天板及びケーシングを評価対象部位とする。また，風（台風）による水平荷重に対しては，吐出フード及びケーシングと比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

なお，吐出フード天板は，板材としてはフランジ部を境界に天板部と先端部に分かれるが，天板部の方が面積が大きく，降下火砕物等による鉛直荷重に対し発生応力が大きくなること及びフランジ以降の先端部は防雨が目的であり，仮に変形が生じてもファンの排気機能に直接影響を与えないことから，先端部は評価対象部位には含めない。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

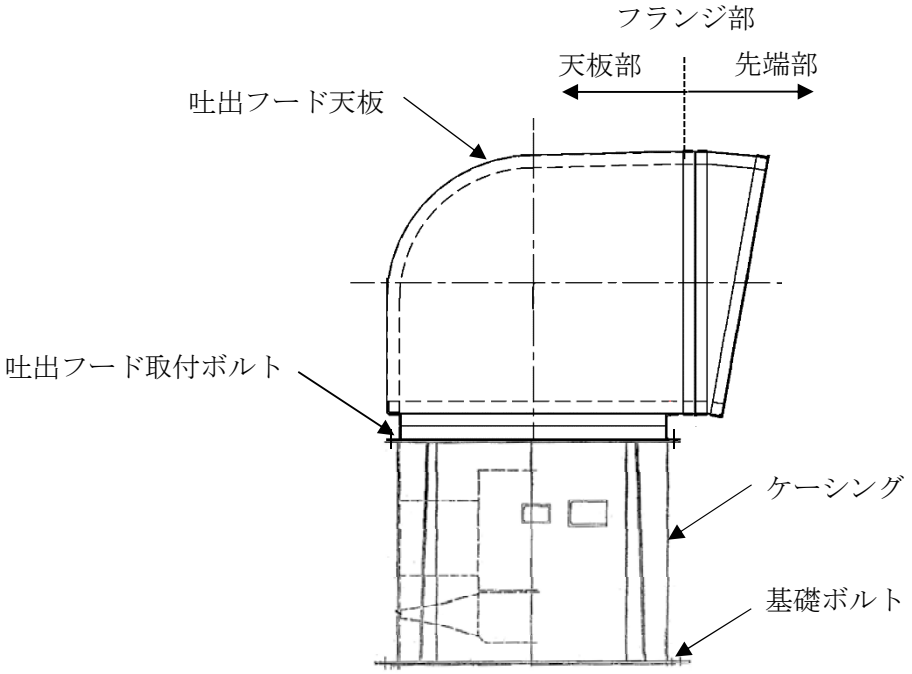


図 3-1　ディーゼル発電機室ルーフベントファンの評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は，吐出フードを含めたファンの自重を考慮する。

b.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v')

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，7565 N/m^2 とする。

c.　風（台風）による水平荷重（W）

風（台風）による水平荷重は，基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い，算出する。全高Hが 5 m 以下であるため，HがZ_b以下の場合の式を用いる。

吐出フード取付ボルトの評価において，風（台風）による水平荷重を受ける面積は，吐出フードの面積を包含する面積とする。

基礎ボルトの評価において，風（台風）による水平荷重を受ける面積は，吐出フード及びケーシングの面積を包含する面積とする。

風（台風）による水平荷重Wは以下のようにして求める。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図 3-2 に示す。

・吐出フード取付ボルトの評価

$W = q \cdot C_1 \cdot A_1$

・基礎ボルトの評価

$W = q \cdot (C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_1')$

ここで

$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$

$E' = E_r^2 \cdot G$

$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^{\alpha}$

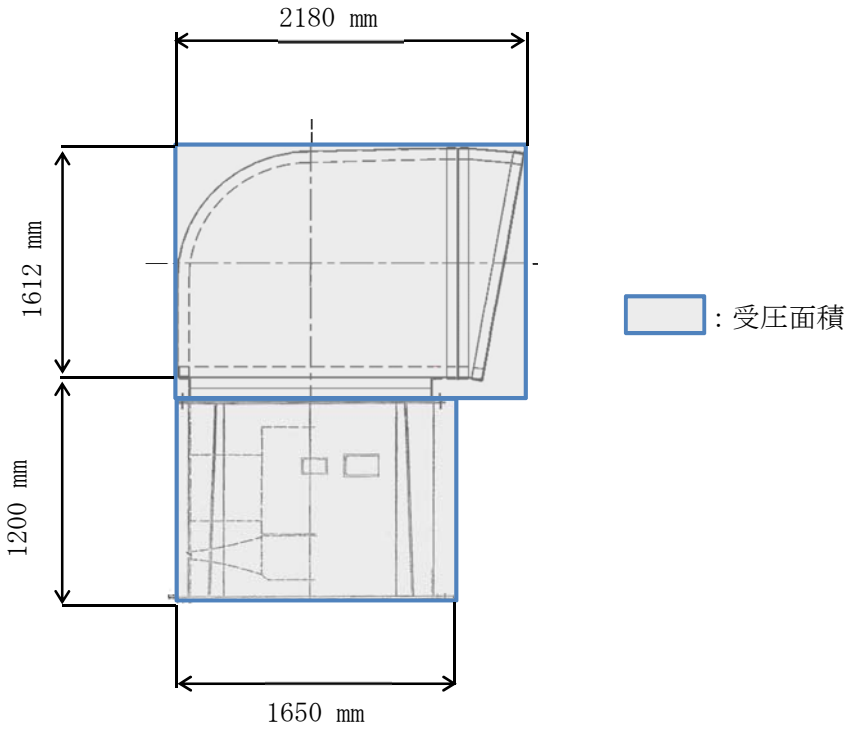


図3-2　風（台風）による水平荷重の受圧面積

(2)　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，ディーゼル発電機室ルーフベントファンの評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンには，自重，降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重が作用する。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2　荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル発電機室 ルーフベントファン	吐出フード天板	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	ケーシング	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	吐出フード 取付ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重
	基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重

3.4　許容限界

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの許容限界は，添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，設計降伏点S_y又はＪＥＡＧ４６０１に基づき許容応力状態$Ⅲ_AS$の許容応力を用いる。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの許容限界は，吐出フード天板に対しては弾性範囲である設計降伏点S_yとする。その他の評価対象部位についてはＪＥＡＧ４６０１を準用し，「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態$Ⅲ_AS$から算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの許容限界を表 3-3，許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3　ディーゼル発電機室ルーフベントファンの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
吐出フード天板	－	一次応力	曲げ	S_y
ケーシング	$Ⅲ_AS$	一次応力	圧縮	$1.5f_c$
吐出フード取付ボルト	$Ⅲ_AS$	一次応力	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	Min｛$1.5f_t$，（$2.1f_t-1.6\tau$）｝
基礎ボルト	$Ⅲ_AS$	一次応力	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	Min｛$1.5f_t$，（$2.1f_t-1.6\tau$）｝

表 3-4　ディーゼル発電機室ルーフベントファンの許容応力

評価対象部位	材料	温度条件（℃）＊	S_y（MPa）	S_u（MPa）	F（MPa）	$1.5f_c$（MPa）	$1.5f_t$（MPa）	$1.5f_s$（MPa）
吐出フード天板	SS400	50	241	－	－	－	－	－
ケーシング	SS400	50	241	394	241	240	－	－
吐出フード取付ボルト	SS400	50	231	394	231	－	173	133
基礎ボルト	SS400	50	231	394	231	－	173	133

注記　＊：周囲環境温度

3.5　評価方法

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの応力評価は，添付書類「V-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(1)　評価モデル

a.　等分布荷重による評価

等分布荷重による評価を行う吐出フード天板は，吐出フード天板の端部から吐出フードフランジまでの四辺固定の長方形板（四辺固定）として評価を行う。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図 3-3 に示す。

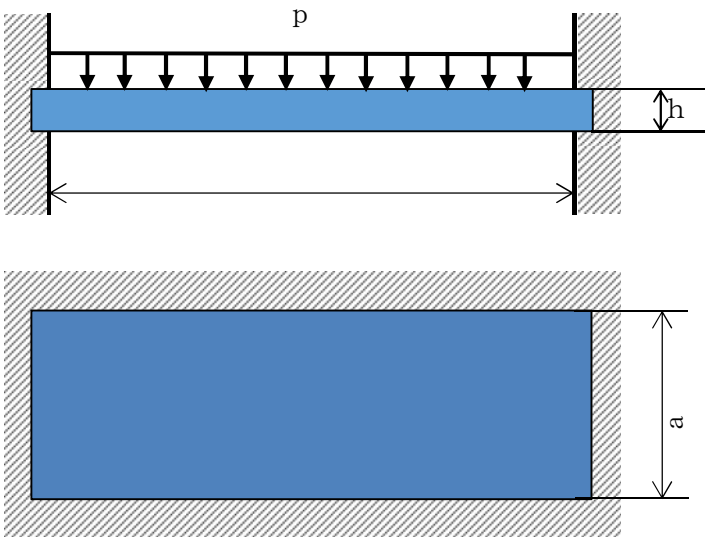


図 3-3　等分布荷重による評価に用いるモデル図

b.　1 質点系モデルによる評価

降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び自重（鉛直荷重）並びに風（台風）による水平荷重に対する，吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトの構造健全性を 1 質点系モデルとして計算を行う。ここで，荷重の作用点はファンの上端とする。ディーゼル発電機室ルーフベントファンの 1 質点系モデル図を図 3-4 に示す。

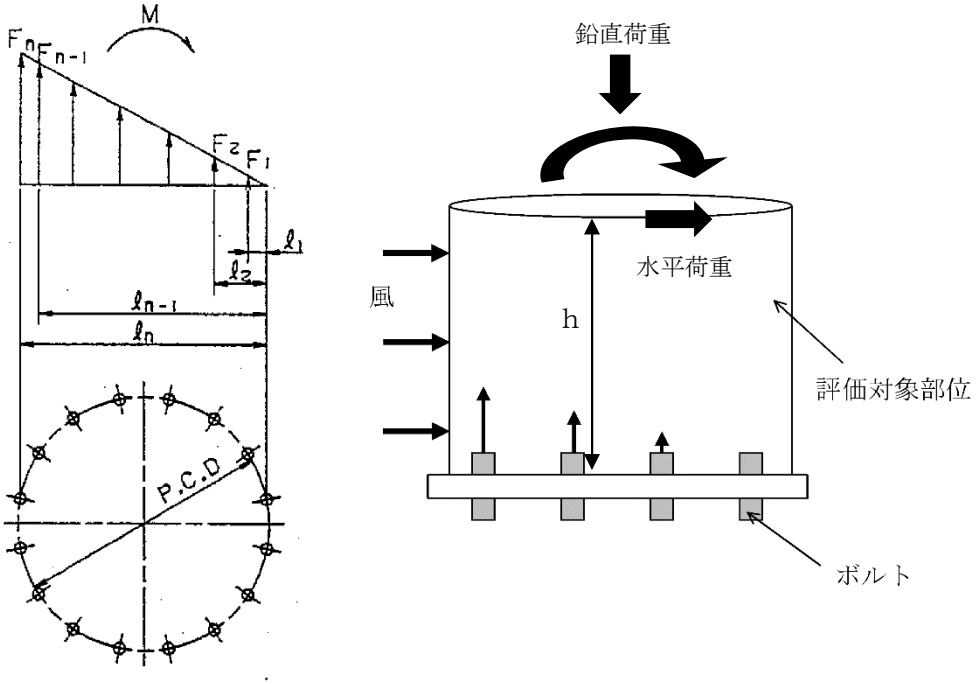


図 3-4　1 質点系モデル図

(2)　評価方法

a.　鉛直方向荷重

(a)　降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$F_v = F_v' \cdot A_2$

降下火砕物等による鉛直荷重の受圧面積を図 3-5 に示す。保守的に吐出フード先端部及びフード曲り部にも降下火砕物等が堆積すると仮定し，評価を行う。

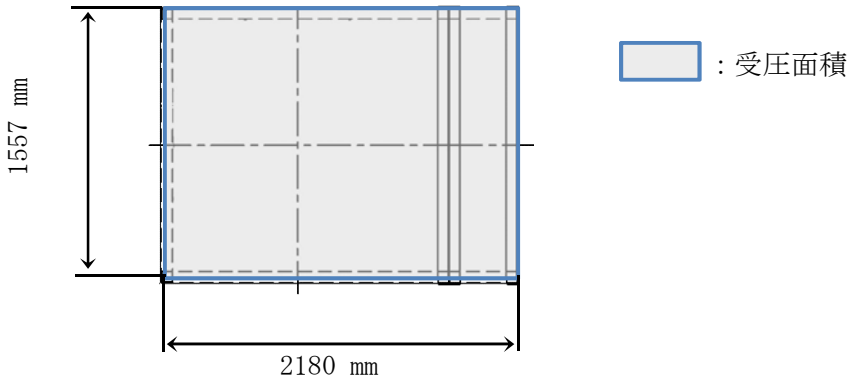


図3-5　鉛直荷重の受圧面積

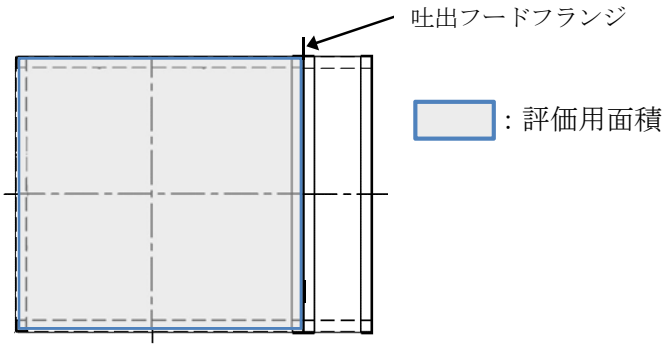
b.　応力評価

(a)　吐出フード天板部に生じる応力

イ.　曲げ応力

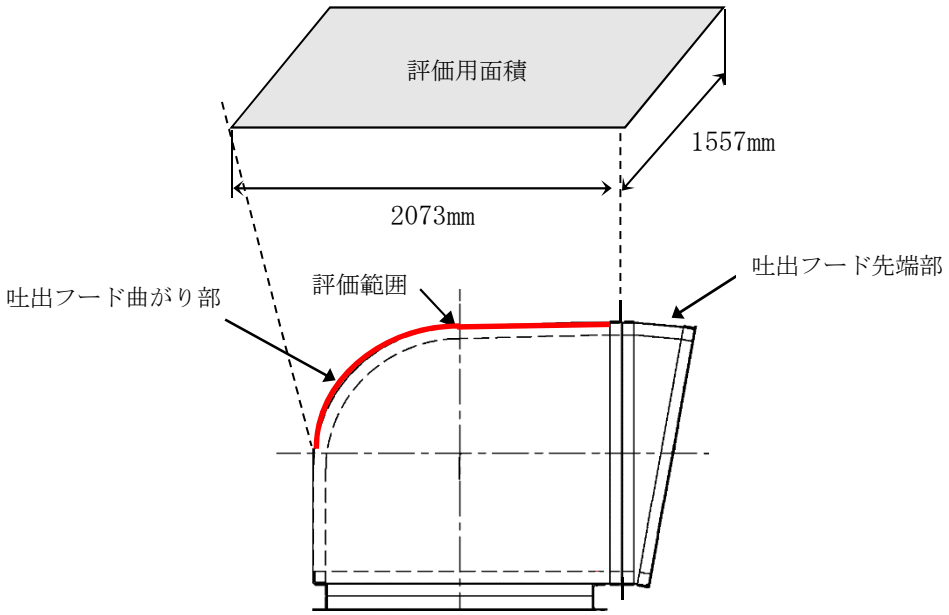
吐出フード天板部は，保守的に吐出フード曲がり部も平面とみなして評価を行う。

吐出フード天板の評価面積図を図 3-6 に示す。



(a)　上面図

図3-6　吐出フード天板の評価用面積図(1/2)



(b) 側面図

図3-6　吐出フード天板の評価用面積図(2/2)

吐出フード天板部に生じる曲げ応力σ_bは次式より算出される。

$$\sigma_b = \beta \cdot \frac{p \cdot a^2}{h_t^2}$$

(b)　ケーシングに生じる応力

イ.　圧縮応力

ケーシングに生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + F_d}{S}$$

ここで,

$$F_d = m \cdot g$$

$$S = \frac{\pi}{4}\left(B_1^2 - B_2^2\right)$$

ケーシングの断面図を図 3-7 に示す。

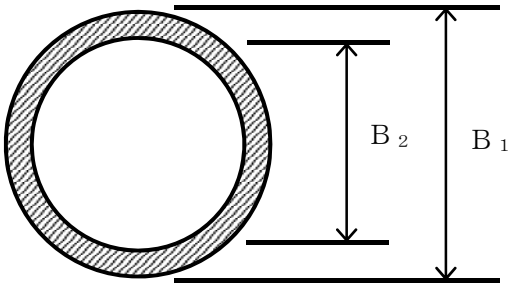


図 3-7　ケーシングの断面図

(c)　吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに生じる応力

イ．　引張応力

吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに生じる引張応力 σ_t は次式より算出される。

（イ）　引張力

$$M=2\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot L_i \qquad \cdots \quad (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i}=\text{一定} \qquad \cdots \quad (3.2)$$

(3.1)　(3.2) 式より，

$$F_n=\frac{M}{2\sum_{i=1}^{n} L_i^{\,2}} L_n$$

ここで，Mは以下による。

$$M=W \cdot h+(m \cdot g+F_V) \cdot \frac{L_n}{2}$$

（ロ）　引張応力

$$\sigma_t=\frac{F_n}{A_b}$$

ロ．　せん断応力

吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに生じるせん断応力 τ は次式より算出される。

ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

（イ）　せん断力

$$Q_b=W$$

（ロ） せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

吐出フード取付ボルトの配置図を図 3-8，基礎ボルトの配置図を図 3-9 に示す。

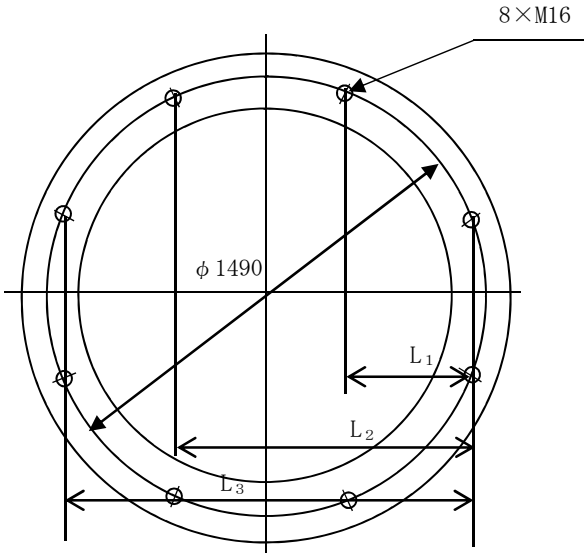


図 3-8　吐出フード取付ボルト配置図

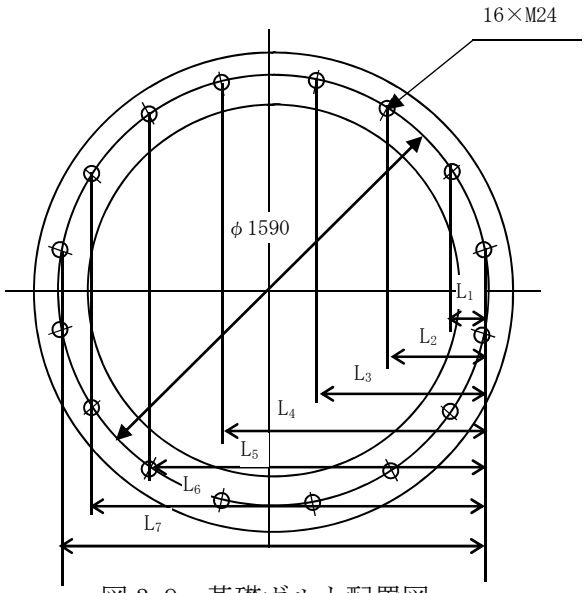


図 3-9　基礎ボルト配置図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-5 に示す。

表 4-1 評価条件

q (N/m^2)	G (－)	C_1 (－)	C_2 (－)	V_D (m/s)	Z_b (m)
960	2.2	1.2	2.4	30	5

Z_G (m)	F_v' (N/m^2)	α (-)	g (m/s^2)
350	7565	0.15	9.80665

表 4-2 評価条件（吐出フード天板）

β (－)	p (N/mm^2)	a (mm)	h_t (mm)
0.45	8.258×10^{-3}	1557	9

表 4-3 評価条件（ケーシング）

A_2 (m^2)	m (kg)	B_1 (mm)	B_2 (mm)
3.394	2440	1418	1400

表 4-4　評価条件（吐出フード取付ボルト）

A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	m (kg)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)
1.980	3.394	1500	403.2	973.4	1376.6

ボルトサイズ	N (－)	A_b (mm^2)	h (mm)
M16	8	201.1	1612

表 4-5　評価条件（基礎ボルト）

A_1 (m^2)	A_1' (m^2)	A_2 (m^2)	m (kg)	L_1 (mm)	L_2 (mm)
1.980	3.514	3.394	2440	118.7	338.0

L_3 (mm)	L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_6 (mm)	L_7 (mm)	ボルトサイズ
624.6	934.8	1221.4	1440.7	1559.4	M24

N (－)	A_b (mm^2)	h (mm)
16	452.4	2812

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

吐出フード天板，ケーシング，吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1　ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
吐出フード天板	SS400	曲げ	112	241
ケーシング	SS400	圧縮	2	240
吐出フード取付ボルト	SS400	引張	47	173
		せん断	6	133
		組合せ	47	173
基礎ボルト	SS400	引張	16	173
		せん断	2	133
		組合せ	16	173

Ⅴ-3-別添 2-1-7　建屋の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 2
2.1 位置 2
2.2 構造概要 3
2.3 評価方針 9
2.4 適用規格 11
3. 強度評価方法及び評価条件 12
3.1 評価対象部位 12
3.2 荷重及び荷重の組合せ 12
3.2.1 荷重の設定 12
3.2.2 荷重の組合せ 19
3.3 許容限界 20
3.4 評価方法 26
3.4.1 屋根に対する評価 26
3.4.2 耐震壁に対する評価 59
3.4.3 鉄骨架構に対する評価 59
4. 強度評価結果 60
4.1 屋根に対する評価結果 60
4.1.1 原子炉建屋原子炉棟 60
4.1.2 原子炉建屋付属棟 62
4.1.3 タービン建屋 64
4.1.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋 66
4.2 耐震壁に対する評価結果 68
4.2.1 原子炉建屋原子炉棟及び原子炉建屋付属棟 68
4.2.2 タービン建屋 69
4.2.3 使用済燃料乾式貯蔵建屋 70
4.3 鉄骨架構に対する評価結果 71
4.3.1 原子炉建屋付属棟 71

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が降下火砕物及び積雪の堆積時においても，内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して，建屋全体又は建屋の主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

また，原子炉建屋原子炉棟については，上記に加え，放射性物質の閉じ込め機能（以下「気密性」という。）及び放射線の遮蔽機能（以下「遮蔽性」という。）の維持を考慮して，部材又は建屋全体として構造健全性を有することを確認するものである。

2.　基本方針

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，本資料では，各建屋の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す位置に設置する。原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の配置を図 2-1 に示す。

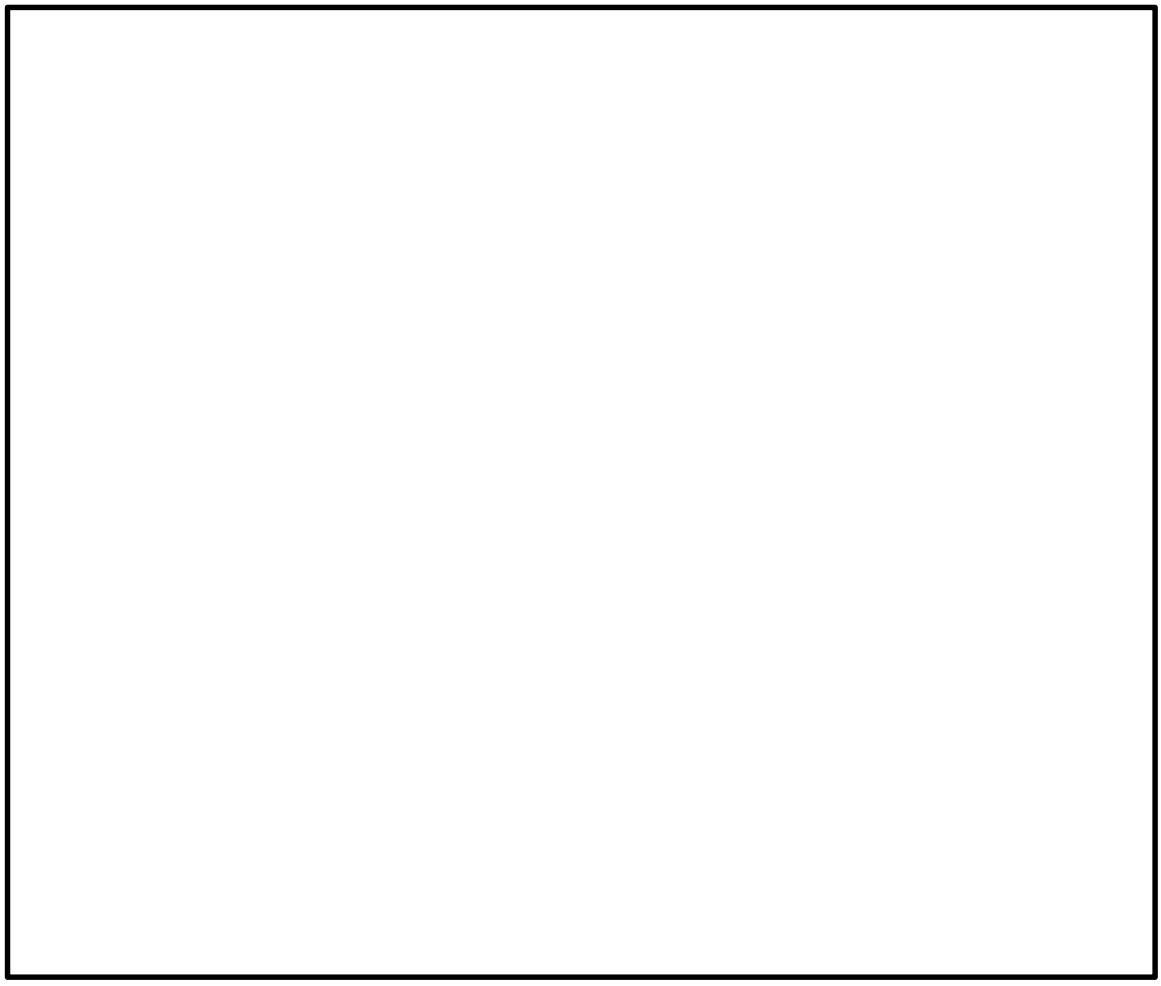


図 2-1　建屋の配置図

2.2　構造概要

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

原子炉建屋原子炉棟及び原子炉建屋付属棟は，主体構造が鉄筋コンクリート造で，鉄骨造陸屋根をもつ地下2階，地上6階の建物である。中央部には，平面が45.5 m（南北方向）×42.5 m（東西方向）の原子炉建屋原子炉棟があり，その周囲には，平面が南北方向68.5 m，東西方向68.25 mの原子炉建屋付属棟を配置している。陸屋根を支える屋根トラスの平面形状は45.5 m(南北方向)×42.5 m(東西方向)の長方形であり，6階面(EL. 46.5 m)からの高さは17.58 mである。

タービン建屋は，平面が 71.0m（南北方向）×105.5m（東西方向）で，主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地上2階，地下1階の建物である。陸屋根を支える屋根トラスの平面形状は39.0 m(南北方向)×105.5 m(東西方向)の長方形であり，2階面(EL. 18.0 m)からの高さは22.45 mである。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，平面が 53.8 m（南北方向）×26.0 m（東西方向）で，主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地上1階の建物である。陸屋根を支える屋根トラスの平面形状は 53.8 m（南北方向）×26.0 m（東西方向）の長方形であり，1 階面（EL. 8.30 m）からの高さは20.90 mである。

原子炉建屋原子炉棟及び原子炉建屋付属棟の概略平面図及び概略断面図を図 2-2～図 2-5 に，タービン建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-6～図 2-8 に，使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-9～図 2-11 に示す。

図 2-2 の概略平面図（EL. 46.5 m）

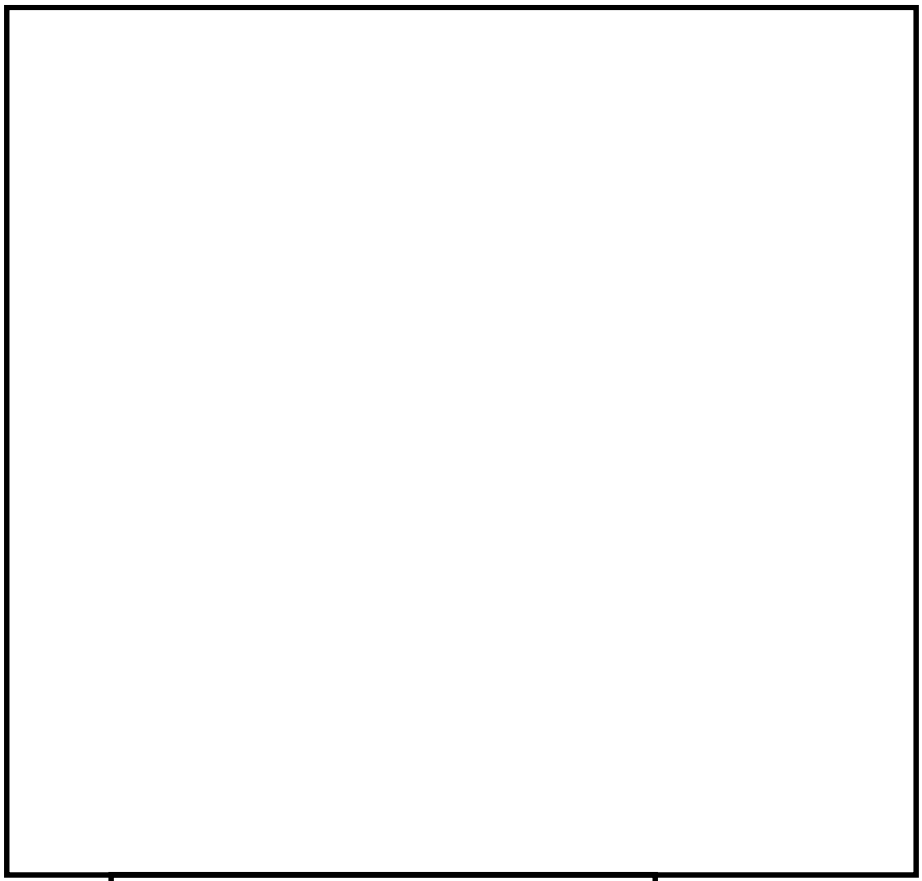


図 2-3 の概略平面図（EL. -4.0 m）

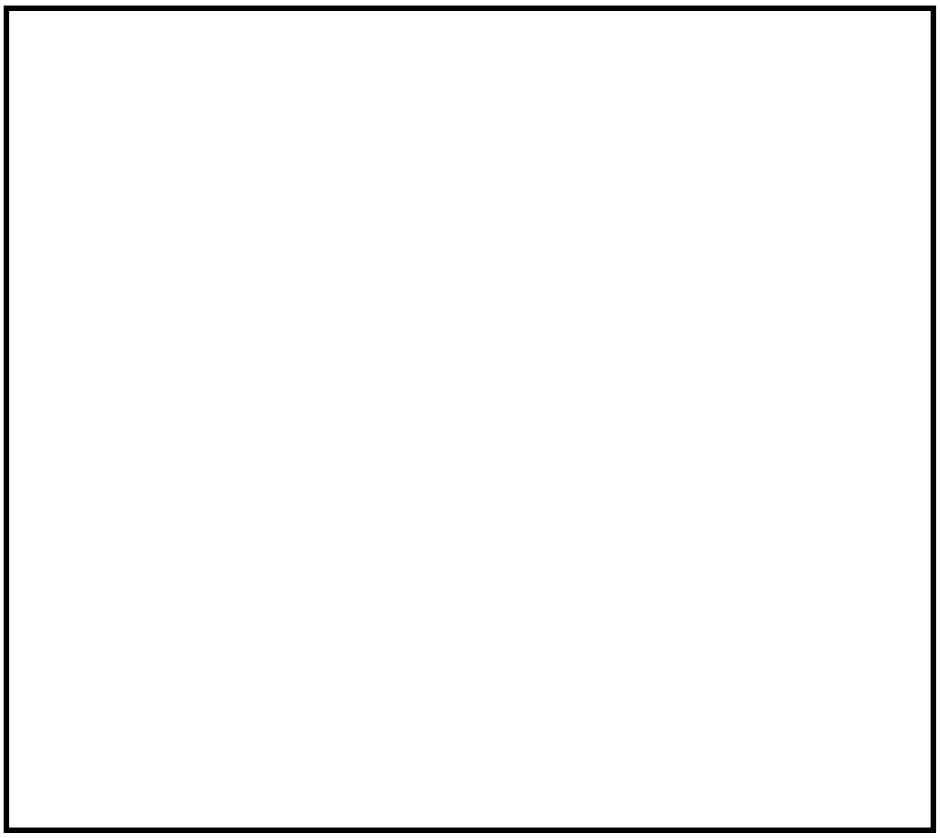


図 2-4　原子炉建屋原子炉棟及び原子炉建屋付属棟の概略断面図（A-A 断面）

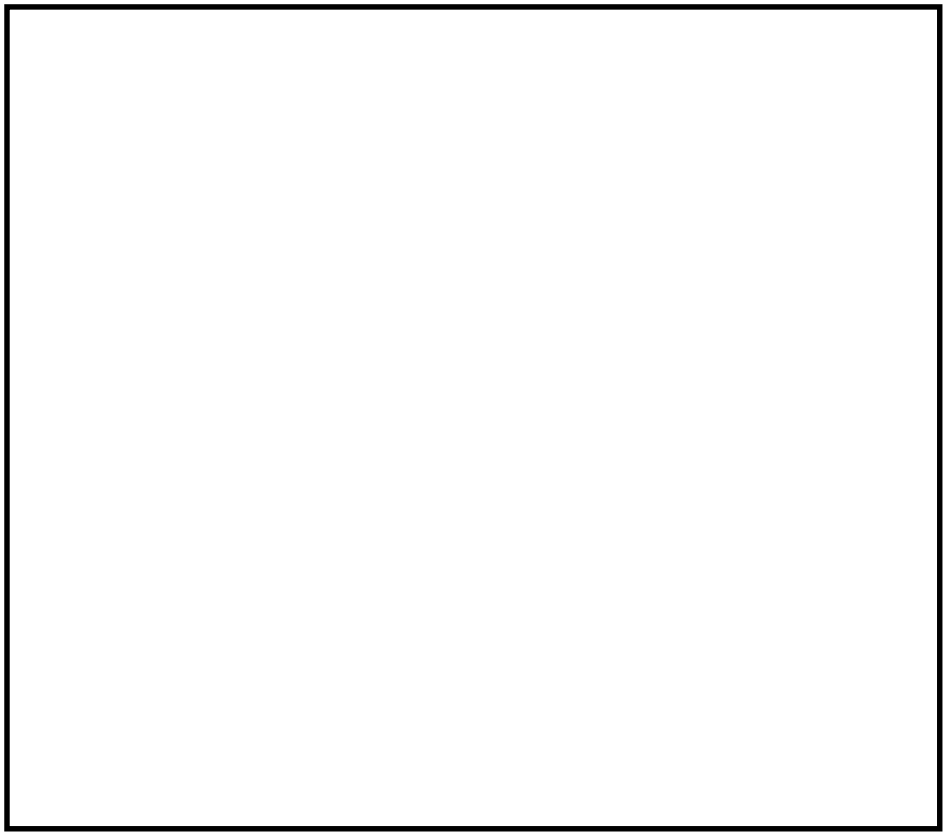


図 2-5　原子炉建屋原子炉棟及び原子炉建屋付属棟の概略断面図（B-B 断面）

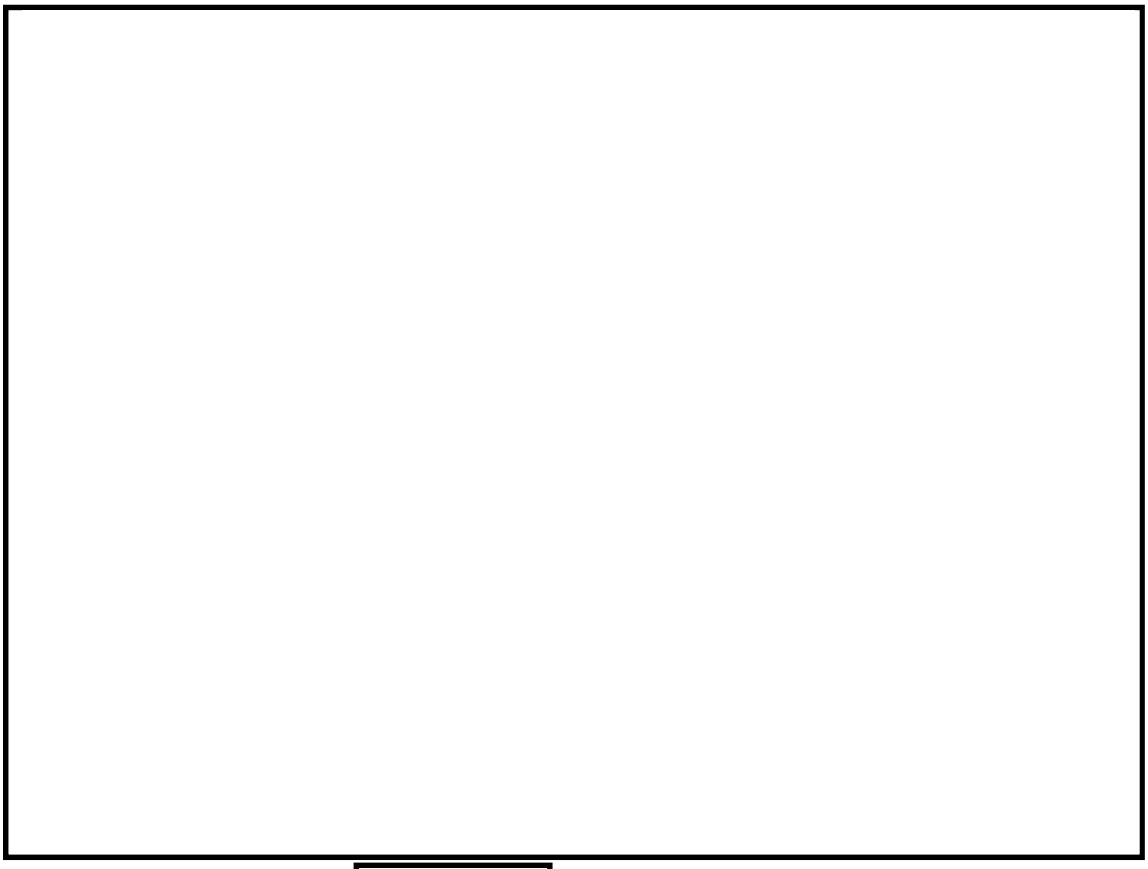


図 2-6 [redacted] の概略平面図（EL.8.2 m）

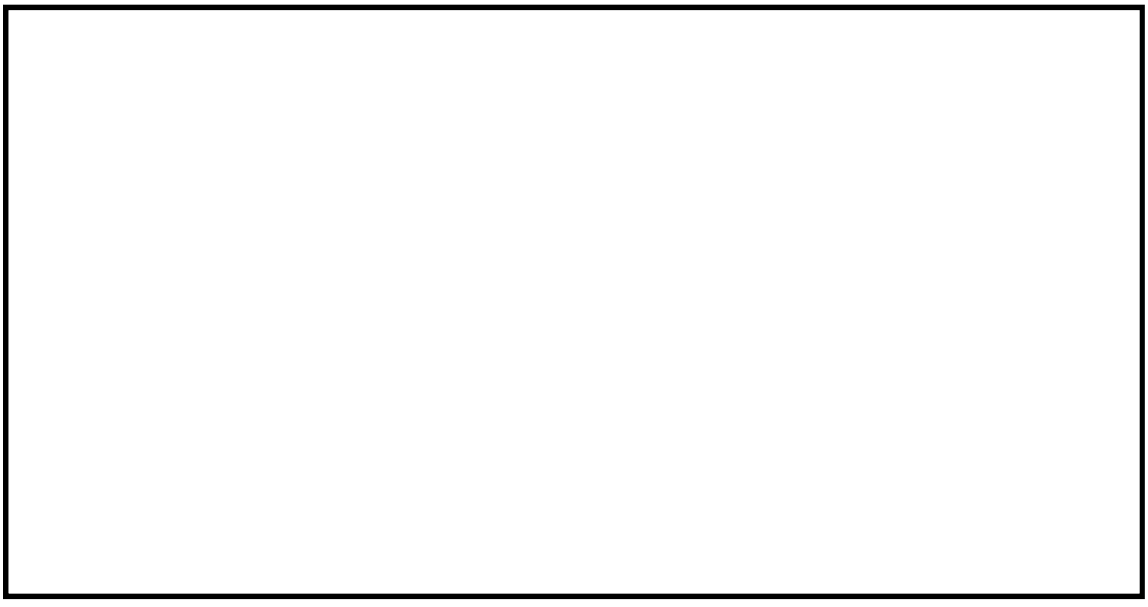


図 2-7　タービン建屋の概略断面図（A-A 断面）

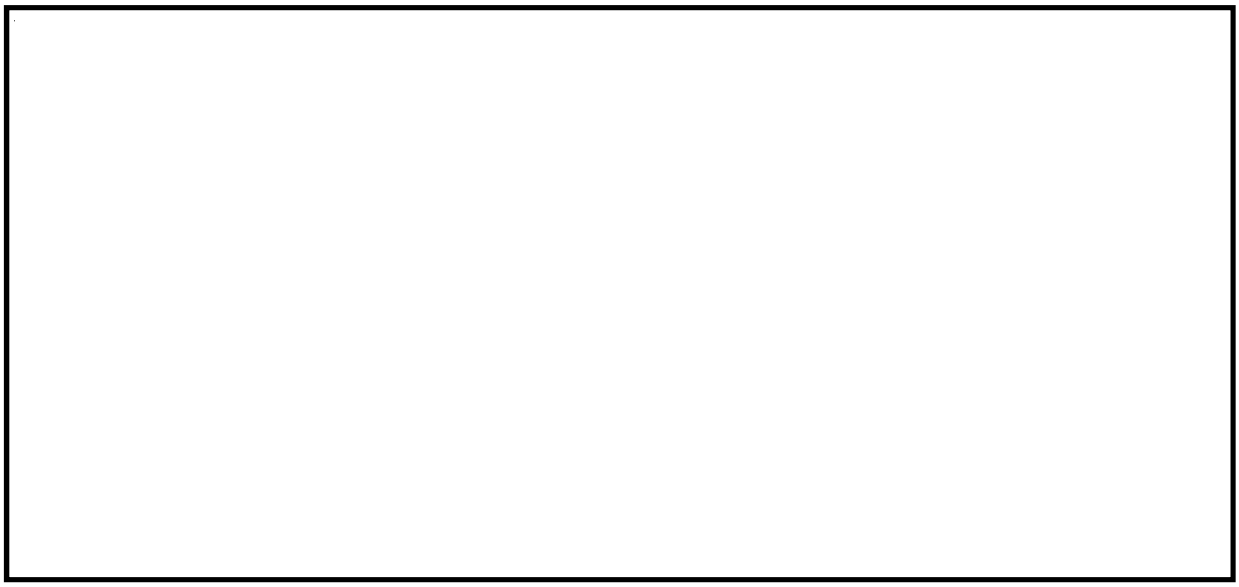


図 2-8　タービン建屋の概略断面図（B-B 断面）

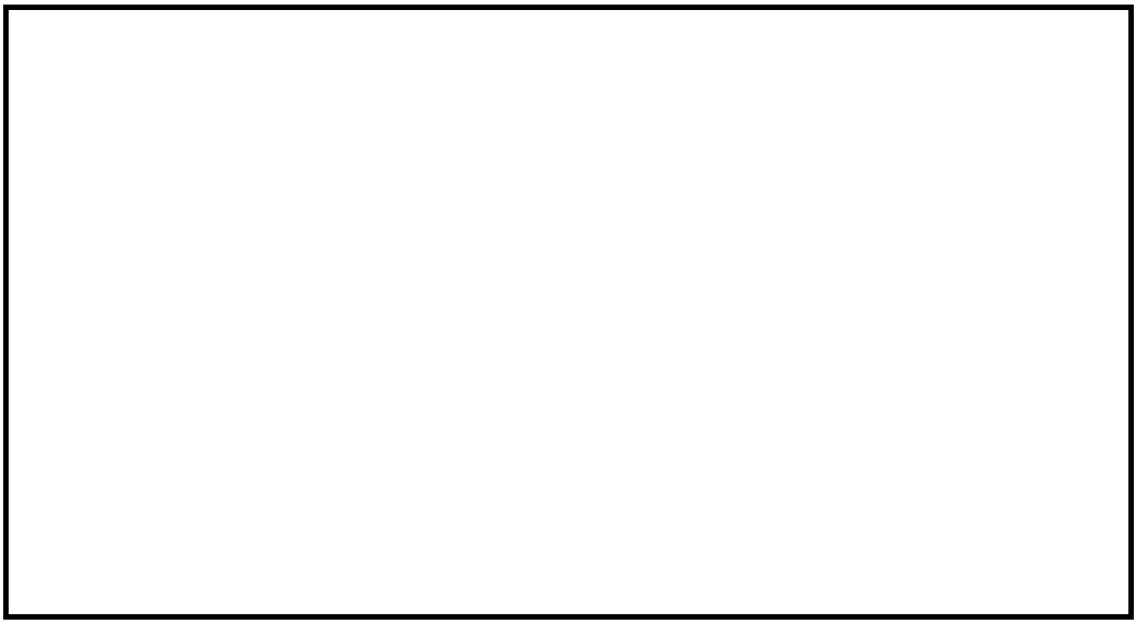


図 2-9 [redacted] の概略平面図（EL.8.3 m）

図 2-10　使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図（A-A 断面）

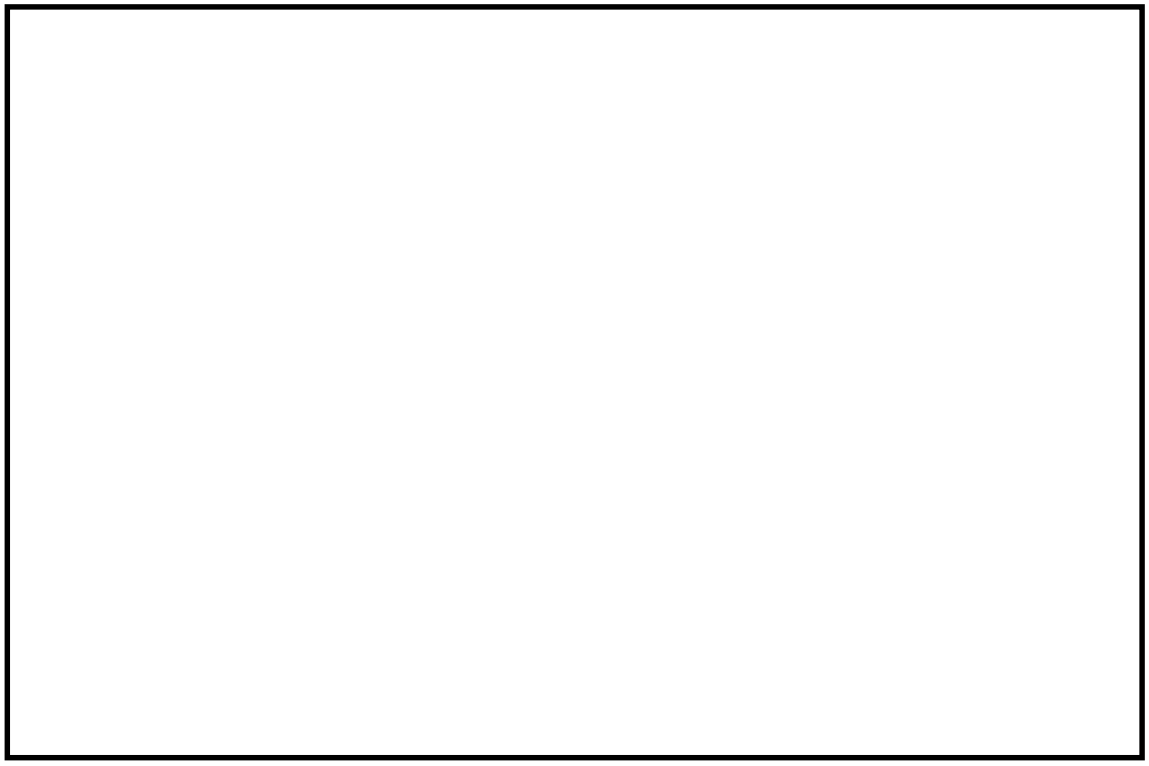


図 2-11　使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図（B-B 断面）

2.3　評価方針

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重，荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて，建屋の評価対象部位に発生する応力等が，許容限界に収まることを「3.　強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し，「4.　強度評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-12 に示す。

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度評価においては，その構造を踏まえ降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

各建屋において，降下火砕物堆積による鉛直荷重に対しては，鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として以下のとおり選定した。

・原子炉建屋原子炉棟：屋根スラブ，主トラス，二次部材（母屋）
・原子炉建屋付属棟　：屋根スラブ，二次部材（母屋）
・タービン建屋　　：屋根スラブ，主トラス，二次部材（母屋）
・使用済燃料乾式貯蔵建屋：屋根スラブ，主トラス，二次部材（サブトラス）

なお，風荷重による水平荷重に対しては，各建屋の耐震壁及び鉄骨架構を評価対象部位とする。

設計荷重は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根に作用する荷重は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に従い，応力解析モデルを用いて評価する。

また，耐震壁及び鉄骨架構の変形量は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に従い，質点系解析モデルを用いて評価する。

許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」に従い，降下火砕物の堆積に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，内包する防護すべき施設に降下火砕物の荷重が作用することを防止するために，建屋全体又は建屋の主要な構造部材が構造健全性を維持するものである。

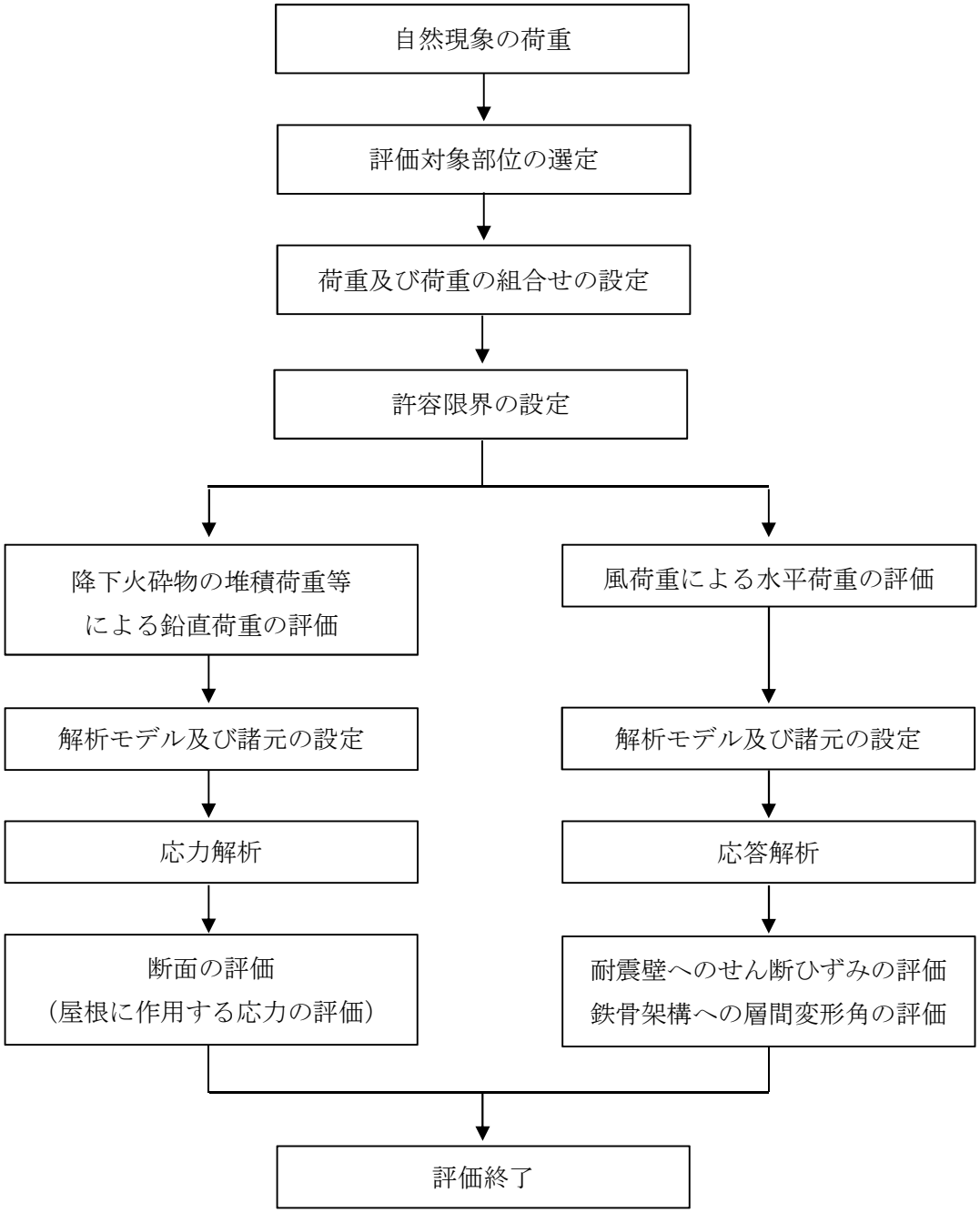


図 2-12　強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　建築基準法及び同施行令

(2)　茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）

(3)　鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）

(4)　鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999）

(5)　原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005）

(6)　建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）

(7)　鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）

(8)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

(9)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

(10)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

(11)　2015年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）

（参考文献）

・　鉄骨Ｘ型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol.37B，pp.303-316.1991（谷口元，加藤勉ほか）

・　原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集　第76 巻　第 661 号，pp571-580，2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

・建築構造設計基準の資料（国土交通省　平成 27 年度）

3. 強度評価方法及び評価条件

3.1 評価対象部位

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価対象部位は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，各建屋の屋根，耐震壁及び鉄骨架構とする。

各建屋の屋根において，降下火砕物堆積による鉛直荷重に対しては，鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として以下のとおり選定した。

・原子炉建屋原子炉棟：屋根スラブ，主トラス，二次部材（母屋）
・原子炉建屋付属棟　：屋根スラブ，二次部材（母屋）
・タービン建屋　　：屋根スラブ，主トラス，二次部材（母屋）
・使用済燃料乾式貯蔵建屋：屋根スラブ，主トラス，二次部材（サブトラス）

なお，風荷重による水平荷重に対しては，各建屋の耐震壁及び鉄骨架構を評価対象部位とする。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.2.1 荷重の設定

(1) 固定荷重（F_d）

a. 屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根スラブに作用する固定荷重を表 3.2-1～表 3.2-4 に示す。

表 3.2-1 原子炉建屋原子炉棟 屋根スラブ及び母屋検討用の固定荷重

部　位	仕上げ	固定荷重（F_d）
屋根スラブ	防水シート	3 kgf/m^2
	アスファルト防水層	37 kgf/m^2
	コンクリート（t=100 mm）	240 kgf/m^2
	デッキプレート部コンクリート	45 kgf/m^2
	デッキプレート	18 kgf/m^2
	合　計	343 kgf/m^2→3370 N/m^2
母屋	（H－390×300×10×16）	1050 N/m^2

表 3.2-2　原子炉建屋付属棟* 屋根スラブ及び母屋　検討用の固定荷重

部　位	仕上げ	固定荷重（F_d）
屋根スラブ (鉄筋コンクリート造)	機器・配管荷重 コンクリート（t=400 mm)	21570 N/m^2 9600 N/m^2
	合　計	31170 N/m^2
屋根スラブ (鉄骨造)	機器・配管荷重 押えコンクリート（t=80 mm) アスファルト防水層 コンクリート（t=150 mm) デッキプレート	13000 N/m^2 1920 N/m^2 150 N/m^2 3600 N/m^2 200 N/m^2
	合　計	18870 N/m^2
母屋	(H－400×200×8×13)	650 N/m

注記　＊：評価結果を記載した代表部位のみ示す

表 3.2-3　タービン建屋 屋根スラブ及び母屋　検討用の固定荷重

部　位	仕上げ	固定荷重（F_d）
屋根スラブ (鉄筋コンクリート造)	機器・配管荷重 コンクリート（t=350 mm)	3730 N/m^2 8400 N/m^2
	合　計	12130 N/m^2
屋根スラブ (鉄骨造)	軽量コンクリートブロック 空練モルタル敷(貧調合) アスファルト防水層 コンクリート（t=100 mm) デッキプレート部コンクリート デッキプレート	54 kgf/m^2 60 kgf/m^2 37 kgf/m^2 240 kgf/m^2 45 kgf/m^2 18 kgf/m^2
	合　計	454 kgf/m^2→4460 N/m^2
母屋	(H－396×302×12×19)	1250 N/m

表 3.2-4　使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根スラブ　検討用の固定荷重

部　位	仕上げ	固定荷重（F_d）
屋根スラブ	砂利（t=30 mm） アスファルト防水層 スラブ（t=450+34=484 mm） デッキプレート	63 kgf/m^2 20 kgf/m^2 1162 kgf/m^2 29 kgf/m^2
	合　計	1274 kgf/m^2→12500 N/m^2

b.　主トラス

原子炉建屋原子炉棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の主トラスに作用する固定荷重を表 3.2-5～表 3.2-7 に示す。

表 3.2-5 [redacted] 主トラス　検討用の固定荷重

部　位	部　材	固定荷重（F_d）
屋根面 (EL. 64.08 m)	屋根スラブ トラス鋼材	343 kgf/m^2 204 kgf/m^2
	合　計	547 kgf/m^2→5370 N/m^2

表 3.2-6 [redacted] 主トラス　検討用の固定荷重

部　位	部　材	固定荷重（F_d）
屋根面 (EL. 40.45 m)	屋根スラブ トラス鋼材	454 kgf/m^2 125 kgf/m^2
	合　計	579 kgf/m^2→5680 N/m^2

表 3.2-7 [redacted] 主トラス及びサブトラス　検討用の固定荷重

部　位	部　材	固定荷重（F_d）
屋根面 (EL. 29.20 m)	屋根スラブ トラス鋼材	1274 kgf/m^2 150 kgf/m^2
	合　計	1424 kgf/m^2→14000N/m^2

(2)　積載荷重（F_l）

積載荷重は，「建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成 27 年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重における 980 N/m^2 を包絡するように除灰時の人員荷重として 1000 N/m^2 とする。なお，除灰においては，重機等の大型機器は使用しない。積載荷重を表 3.2-8 に示す。

表 3.2-8　積載荷重

積載荷重（F_l）
1000 N/m^2

(3)　積雪荷重（F_s）

積雪荷重は，茨城県建築基準法等施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）による東海村の垂直積雪量 30 cm に平均的な積雪荷重*を与えるための係数 0.35 を考慮した 10.5 cm に設定し，積雪量 1 cm ごとに 20 N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。積雪荷重を表 3.2-9 に示す。

注記　＊：建築物の構造関係技術基準解説書

表 3.2-9　積雪荷重

積雪荷重（F_s）
210 N/m^2

(4)　降下火砕物堆積による鉛直荷重(F_{v0})

降下火砕物堆積による単位面積あたりの鉛直荷重は，7355 N/m^2 とする。降下火砕物堆積による鉛直荷重を表 3.2-10 に示す。

表 3.2-10　降下火砕物堆積による鉛直荷重

降下火砕物堆積による鉛直荷重（F_{v0}）
7355 N/m^2

(5) 風荷重(W)

a. 記号の定義

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度評価において風荷重の算定に用いる記号を表 3.2-11 に示す。

表 3.2-11 風荷重の算定に用いる記号

記号	単位	定義
A	m^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	－	風力係数
E’	－	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
E_r	－	建設省告示第1454号第2項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
G	－	ガスト影響係数
H	m	全高
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	基準風速
W	N	風荷重
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に揚げる数字
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に揚げる数字
α	－	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に揚げる数字

b. 風荷重（W）の算定

風荷重の算出に用いる基準風速は，30 m/s とする。

風荷重Wは，添付書類「V-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c 水平荷重」に示す式に従い算出する。全高Hが 5 m 以上であるため，HがZ_b以上の場合の式を用いる。風荷重Wの算出は，建屋の形状を考慮して算出した風力係数C及び風の受圧面積Aに基づき実施し，風荷重Wの算出に用いる受圧面積の算定において，隣接する建屋の遮断効果は，安全側の評価となるよう考慮しない。

$$W = q \cdot C \cdot A$$

ここで，

$$q = 0.6E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_a)$　　（HがZ_bを超える場合）

$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^{\alpha}$　（HがZ_G以下の場合）

風荷重算定に使用する入力条件を表 3.2-12～表 3.2-15 に示す。

表 3.2-12　設計風荷重の条件

施設名称	基準風速 V_D (m/s)	全高 H (m)	Z_G (m)	α	ガスト影響係数 G	設計用速度圧 q (N/m^2)
原子炉建屋原子炉棟 原子炉建屋付属棟	30	55.65	350	0.15	2.00	1798
タービン建屋	30	32.64	350	0.15	2.05	1571
使用済燃料乾式貯蔵建屋	30	21.20	350	0.15	2.13	1430

表 3.2-13 [redacted] の風力係数及び受圧面積

(a)　NS 方向

標高 EL.(m)	風力係数C		受圧面積A (m^2)	
	風上	風下	風上	風下
63.65 ～ 57.00	0.80	0.4	331	331
57.00 ～ 46.50	0.77	0.4	447	447
46.50 ～ 38.80	0.72	0.4	328	328
38.80 ～ 34.70	0.67	0.4	175	175
34.70 ～ 29.00	0.64	0.4	266	266
29.00 ～ 20.30	0.60	0.4	581	581
20.30 ～ 14.00	0.51	0.4	430	430
14.00 ～ 8.20	0.41	0.4	396	396

(b)　EW 方向

標高 EL.(m)	風力係数C		受圧面積A (m^2)	
	風上	風下	風上	風下
63.65 ～ 57.00	0.80	0.4	354	354
57.00 ～ 46.50	0.77	0.4	478	478
46.50 ～ 38.80	0.72	0.4	351	351
38.80 ～ 34.70	0.67	0.4	187	187
34.70 ～ 29.00	0.64	0.4	283	283
29.00 ～ 20.30	0.60	0.4	570	570
20.30 ～ 14.00	0.51	0.4	432	432
14.00 ～ 8.20	0.41	0.4	398	398

表 3.2-14 [redacted]の風力係数及び受圧面積

(a) NS 方向

標高 EL.(m)	風力係数C		受圧面積A (m^2)	
	風上	風下	風上	風下
40.64 ～ 28.00	0.80	0.4	1408	1408
28.00 ～ 18.00	0.69	0.4	1129	1129
18.00 ～ 8.20	0.56	0.4	1034	1034

(b) EW 方向

標高 EL.(m)	風力係数C		受圧面積A (m^2)	
	風上	風下	風上	風下
40.64 ～ 28.00	0.80	0.4	585	585
28.00 ～ 18.00	0.69	0.4	733	733
18.00 ～ 8.20	0.56	0.4	696	696

表 3.2-15 [redacted]の風力係数及び受圧面積

(a) NS 方向

標高 EL.(m)	風力係数C		受圧面積A (m^2)	
	風上	風下	風上	風下
29.20 ～ 17.75	0.80	0.4	318	318
17.75 ～ 8.30	0.63	0.4	254	254

(b) EW 方向

標高 EL.(m)	風力係数C		受圧面積A (m^2)	
	風上	風下	風上	風下
29.20 ～ 17.75	0.80	0.4	657	657
17.75 ～ 8.30	0.63	0.4	525	525

3.2.2　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，建屋の評価対象部位ごとに設定する。建屋に水平方向の風荷重が作用すると，屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き，鉛直下向きの荷重が低減されるため，保守的に考え，風による鉛直方向の荷重は考慮しない。

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価に用いる荷重の組合せを表 3.2-16 に示す。

表 3.2-16　荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷　重
建屋	・原子炉建屋原子炉棟 ・原子炉建屋付属棟 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	屋根	①固定荷重 ②積載荷重 ③積雪荷重 ④降下火砕物堆積による鉛直荷重
	・原子炉建屋原子炉棟 ・原子炉建屋付属棟 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	耐震壁	①固定荷重 ②積載荷重 ③積雪荷重 ④降下火砕物堆積による鉛直荷重 ⑤風荷重
	・原子炉建屋付属棟	鉄骨架構	①固定荷重 ②積載荷重 ③積雪荷重 ④降下火砕物堆積による鉛直荷重 ⑤風荷重

3.3　許容限界

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.1　評価対象部位」にて設定している建屋の評価対象部位ごとに設定する。

原子炉建屋原子炉棟の屋根スラブは，気密性及び遮蔽性を担保するために，原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。また，構造健全性を維持する設計とすることを構造強度設計上の性能目標としている主トラス及び母屋（二次部材）は，終局耐力に対して妥当な安全裕度を有する許容限界，耐震壁は，ＪＥＡＧ４６０１に基づき最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を許容限界として設定する。

原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋については，各部位が構造健全性を維持する設計とすることを構造強度設計上の性能目標としているため．屋根スラブは終局耐力，主トラス，母屋（二次部材）及びサブトラス（二次部材）は，崩壊機構が形成されないこと，耐震壁は，ＪＥＡＧ４６０１に基づき最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}，鉄骨架構は建築基準法施行令に基づき層間変形角 1/200 を許容限界として設定する。

常時作用する固定荷重，除灰時の人員荷重としての積載荷重，積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重に対する屋根の評価において，積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重は，30 日以内に除雪・除灰することから短期荷重として扱う。

各建屋の評価における許容限界を表 3.3-1～表 3.3-4 のとおり設定する。また，鋼材，コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 3.3-5，表 3.3-6 及び表 3.3-7 に示す。

表 3.3-1　原子炉建屋原子炉棟の屋根及び耐震壁の許容限界

要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位		構造健全性維持のための考え方	許容限界	評価に用いる基準
－	構造健全性を維持すること	屋根	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対し妥当な安全余裕を有する許容限界	ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度*1
			主トラス		終局耐力に対し妥当な安全余裕を有する許容限界	弾性限耐力*2
			母屋（二次部材）			
		耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	屋根スラブ		部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度	ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽機能を損なわないこと	屋根スラブ		部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度	ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度

注記　＊1：構造強度に対しては，「終局耐力に対し妥当な安全余裕を有する許容限界」が許容限界となるが，気密性，遮蔽性において「短期許容応力度」を許容限界としていることから，「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度で評価

＊2：弾性限耐力として「Ｓ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用

表 3.3-2　原子炉建屋付属棟の屋根，耐震壁及び鉄骨架構の許容限界

要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位		構造健全性維持のための考え方	許容限界*1	評価に用いる基準
－	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	終局耐力	弾性限耐力*2
			母屋（二次部材）	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと	崩壊機構が形成されないこと*3
		耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}	最大せん断ひずみ*7 2.0×10^{-3}
		鉄骨架構		層間変形角が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/200	層間変形角 1/200

注記　＊1：複数部材で構成されている屋根において，単一部材である屋根スラブは，部材の終局耐力を許容限界とし，構造体として母屋が崩壊しないことを許容限界とする。

＊2：弾性限耐力として「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用

＊3：部材の構造健全性評価においては，弾性限耐力*4 が基本となるが，一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は，その部材に対して，修正若林式*5*6 及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い，構造健全性を評価する。なお，適切な裕度を有していることを，荷重増分解析により確認する。

＊4：弾性限耐力として「Ｓ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用

＊5：鉄骨Ｘ型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol.37B, pp.303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）

＊6：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 76 巻 第 661 号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

＊7：原子炉建屋原子炉棟と一体構造であることから，原子炉建屋原子炉棟の許容限界を適用する。

表 3.3-3　タービン建屋の屋根及び耐震壁の許容限界

要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位		構造健全性維持のための考え方	許容限界*1	評価に用いる基準
－	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	終局耐力	弾性限耐力*2
			主トラス	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと	崩壊機構が形成されないこと*3
			母屋（二次部材）			
		耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}

注記　＊1：複数部材で構成されている屋根において，単一部材である屋根スラブは，部材の終局耐力を許容限界とし，構造体として主トラス，母屋が崩壊しないことを許容限界とする。

＊2：弾性限耐力として「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用

＊3：部材の構造健全性評価においては，弾性限耐力*4が基本となるが，一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は，その部材に対して，修正若林式*5*6及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い，構造健全性を評価する。なお，適切な裕度を有していることを，荷重増分解析により確認する。

＊4：弾性限耐力として「Ｓ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用

＊5：鉄骨Ｘ型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol.37B, pp.303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）

＊6：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 76 巻 第 661 号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

表 3.3-4　使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根及び耐震壁の許容限界

要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位		構造健全性維持のための考え方	許容限界*	評価に用いる基準
－	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	終局耐力	ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度
			主トラス	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと	Ｓ規準の短期許容応力度
			サブトラス（二次部材）			
		耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}

注記　＊：複数部材で構成されている屋根において，単一部材である屋根スラブは，部材の終局耐力を許容限界とし，構造体として主トラス，サブトラスが崩壊しないことを許容限界とする。

表 3.3-5　鋼材の許容応力度

建屋	種類		F 値 (N/mm^2)	短期		
				引張 (N/mm^2)	圧縮及び曲げ (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
原子炉建屋原子炉棟 原子炉建屋付属棟 タービン建屋	SS400*1	t≦40 (mm)	235	235	235*2	135
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	SS400 SM400A	t≦40 (mm)	235	235	235*2	135

注記　＊1：建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが，現在の規格（SS400）に読み替えた許容応力度を示す。

＊2：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3.3-6　コンクリートの許容応力度

建屋	設計基準強度 (N/mm^2)	短　期	
		圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
原子炉建屋原子炉棟 原子炉建屋付属棟 タービン建屋	22.1	14.7	1.06
使用済燃料乾式貯蔵建屋	23.5	15.6	1.08

表 3.3-7　鉄筋の許容応力度

建屋	種類	短　期	
		引張及び圧縮 (N/mm^2)	面外せん断補強 (N/mm^2)
原子炉建屋原子炉棟 原子炉建屋付属棟 タービン建屋	SD345*	345	345
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	SD345	345	345

注記　＊：建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが，現在の規格（SD345）に読み替えた許容応力度を示す。

3.4　評価方法

3.4.1　屋根に対する評価

3.4.1.1　原子炉建屋原子炉棟

(1)　屋根スラブ

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度を算定し，許容限界を超えないことを確認する。なお，評価においては，表 3.3-1 に示すように，機能設計上の性能目標の構造強度に対する許容限界は，終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界となるが，気密性，遮蔽性において，短期許容応力度を許容限界としていることから，屋根スラブについては，ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度で評価する。

a.　応力解析モデル及び諸元

屋根スラブは母屋で支持された 1 方向スラブとして単位幅を取り出し，等分布荷重を受ける両端固定梁として応力を算定する。なお，原子炉建屋原子炉棟の屋根スラブは単一断面であり，屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であることから，支持スパンの長い部位を対象に評価を行う。

屋根スラブの評価モデル図を図 3.4-1 に，評価部位の位置を図 3.4.-2 に，検討条件を表 3.4-1 に示す。

【両端固定梁】

・端部モーメント　$M_E = \frac{1}{12} W \cdot l^2$

・中央モーメント　$M_c = \frac{1}{24} W \cdot l^2$

・端部せん断力　　$Q_E = 0.5W \cdot l$

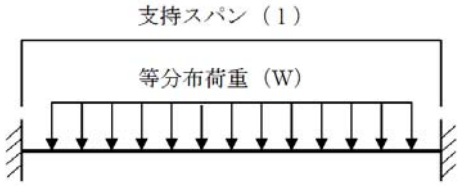


図 3.4-1　原子炉建屋原子炉棟 屋根スラブ　評価モデル図(両端固定梁)

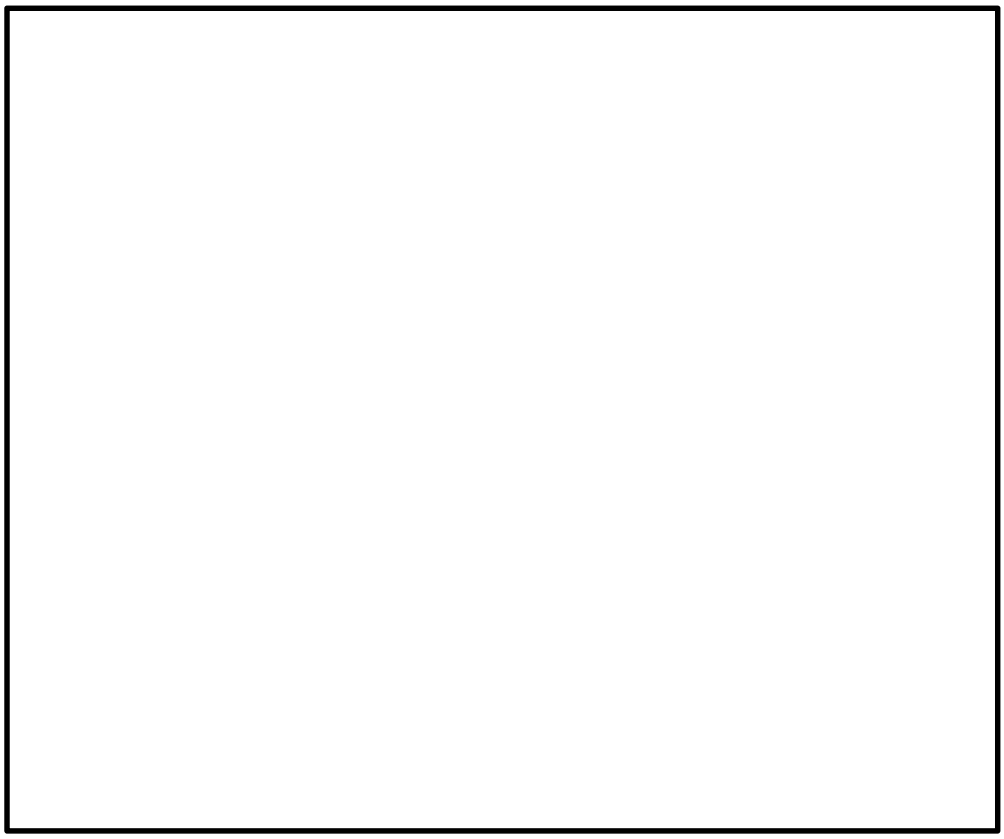


図 3.4-2　原子炉建屋原子炉棟 屋根スラブ　評価部位の位置

表 3.4-1 [redacted] 屋根スラブ　検討条件

評価対象部位*	スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持スパン (m)	配筋	配筋量 (片側) (mm^2/m)
EL. 64.08 m	100	50	2.27	D13@180	703.9

注記　＊：支持スパンが長い部位を記載

b.　曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は，ＲＣ－Ｎ規準に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで，

σ_t　：鉄筋の引張応力度（N/mm^2）

M　：曲げモーメント（N･mm）

a_t　：引張鉄筋断面積（mm^2）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

c.　面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価は，ＲＣ－Ｎ規準に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断応力度が，次式をもとに計算した許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで，

Q_A　：許容面外せん断力（N）

b　：断面の幅（mm）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

α　：許容せん断力の割り増し係数

（2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。）

f_s　：コンクリートの短期許容せん断応力度（N/mm^2）

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

ここで，

M　：曲げモーメント（N･mm）

Q　：せん断力（N）

d　：断面の有効せい（mm）

(2)　主トラス

主トラスは，3 次元フレームモデルによる応力解析より主トラスの応力度を算定し，許容限界を超えないことを確認する。

応力解析は，3 次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析に使用するコードは「ＤＹＮＡ２Ｅ」である。なお，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-2　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＤＹＮＡ２Ｅ」に示す。

a.　応力解析モデル及び諸元

応力解析モデルは，原子炉建屋原子炉棟については EL.46.5m より上部の耐震壁，柱，梁，主トラス及び屋根スラブをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデル図を図 3.4-3 に，主トラスの部材リストを表 3.4-2 に，材料物性値を表 3.4-3 に示す。

解析モデルに使用する要素は，シェル要素，梁要素及びトラス要素とする。また，解析モデルの脚部は固定とする。

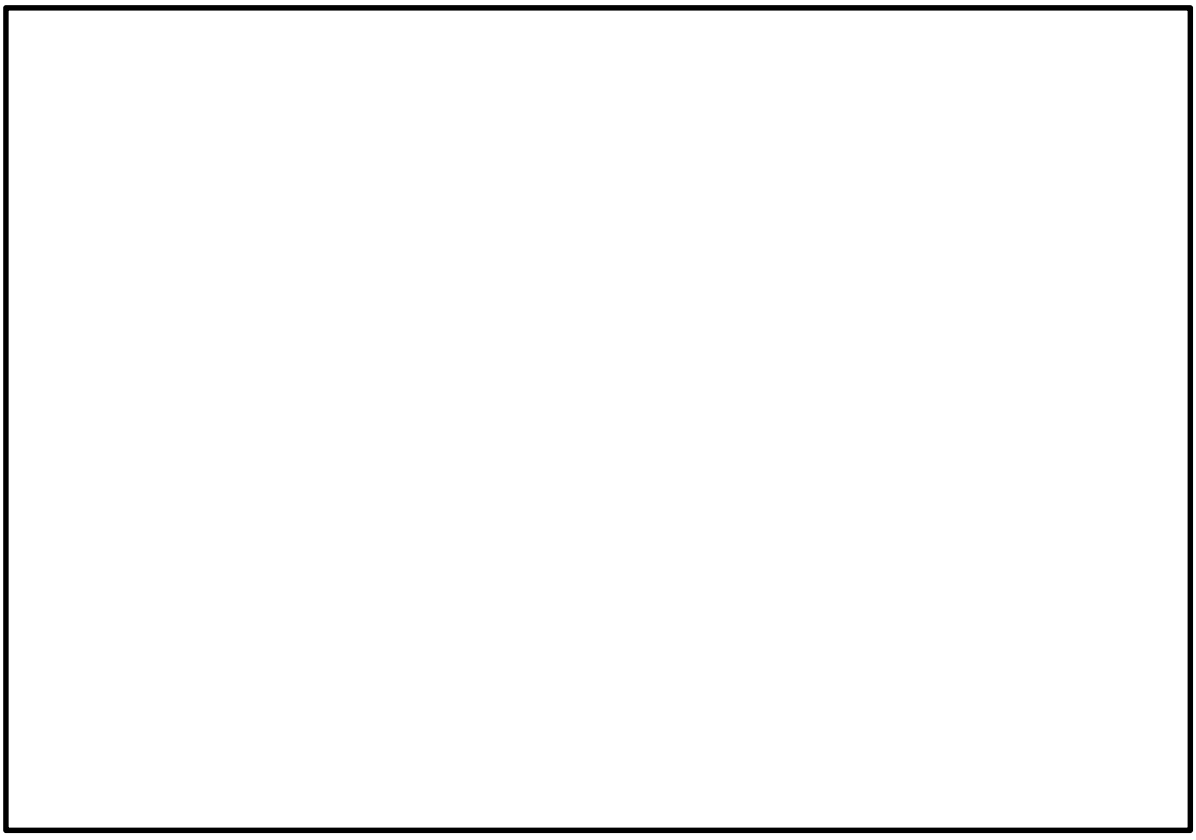


図 3.4-3　原子炉建屋原子炉棟 主トラス　解析モデル図

表 3.4-2　原子炉建屋原子棟 主トラス　部材リスト

部　位	部　材	断面積 A (cm^2)	断面 2 次 モーメント I (cm^4)
上弦材・下弦材	Ｈ－400×400×13×21	218.7	66600
斜材	$2L_s$－200×200×15＋$2FB_s$－9×150	142.5	―
斜材・束材	$2L_s$－200×200×15	115.5	―
斜材・束材	$2L_s$－150×150×15	85.48	―
斜材・束材	$2L_s$－150×100×12	57.12	―
つなぎ梁・束材	$2L_s$－100×100×10	38.00	―
母屋	Ｈ－390×300×10×16	136.0	38700
上弦面つなぎ梁	Ｈ－582×300×12×17	174.5	103000
下弦面つなぎ梁	Ｈ－250×250×9×14	92.18	10800
上弦面水平 ブレース	$2CT_s$－200×400×13×21	218.6	―
下弦面水平 ブレース	ＣＴ－300×200×11×17	67.21	―
つなぎ梁 鉛直ブレース	$2L_s$－90×90×10	34.00	―

表 3.4-3　原子炉建屋原子炉棟 主トラス　材料物性値

使用材料	ヤング係数 E　(N/mm^2)	せん断弾性係数 G　(N/mm^2)
鉄筋コンクリート：F_c22.1	2.21×10^4	9.21×10^3
鉄　　骨　　：SS400*	2.05×10^5	7.9×10^4

注記　＊：建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが，現在の規格（SS400）に読み替え

b. 鋼材断面の評価法

断面の評価は，Ｓ規準に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお，許容限界については，表 3.3-1 に示すように，終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界を設定し，その許容限界は，弾性限耐力としてＳ規準の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用する。

（圧縮）

$$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1.0$$

ただし，

$$\sigma_c=\frac{N_c}{A}$$

$$\sigma_b=\frac{M}{Z}$$

ここで，

σ_c	：圧縮応力度（N/mm²）	σ_b	：曲げ応力度（N/mm²）
N_c	：圧縮軸力（N）	A	：軸断面積（mm²）
M	：曲げモーメント（N･mm）	Z	：断面係数（mm³）
f_c	：弾性限圧縮応力度（N/mm²）		
f_b	：弾性限曲げ応力度（N/mm²）		

（引張）

$$\frac{\sigma_t+\sigma_b}{f_t}\leqq 1.0$$

ただし，

$$\sigma_t=\frac{N_t}{A}$$

$$\sigma_b=\frac{M}{Z}$$

ここで，

σ_t	：引張応力度（N/mm²）	σ_b	：曲げ応力度（N/mm²）
N_t	：引張軸力（N）	A	：軸断面積（mm²）
M	：曲げモーメント（N･mm）	Z	：断面係数（mm³）
f_t	：弾性限引張応力度（N/mm²）		

(3)　母屋（二次部材）

母屋（二次部材）における曲げモーメント及びせん断力による応力度を算定し，許容限界を超えないことを確認する。

a.　応力解析モデル及び諸元

母屋は主トラスで支持されたスパンの支配幅を取り出し，等分布荷重を受ける単純梁（両端ピン支持の梁）として応力を算定する。なお，屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であることから，支持スパンが長く，断面の小さい鉄骨部材を使用している部位を対象に評価を行う。

母屋の評価モデル図を図 3.4-4 に，評価部材の位置を図 3.4-5 に，検討条件を表 3.4-4 に示す。

【単純梁】

・中央モーメント　$M_c = \frac{1}{8} W \cdot l^2$

・端部せん断力　　$Q_E = 0.5W \cdot l$

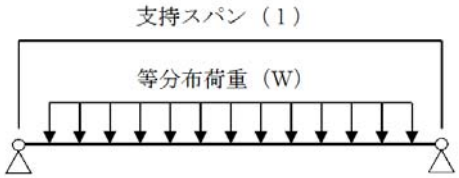


図 3.4-4　原子炉建屋原子炉棟 母屋（二次部材）　評価モデル図(単純梁)

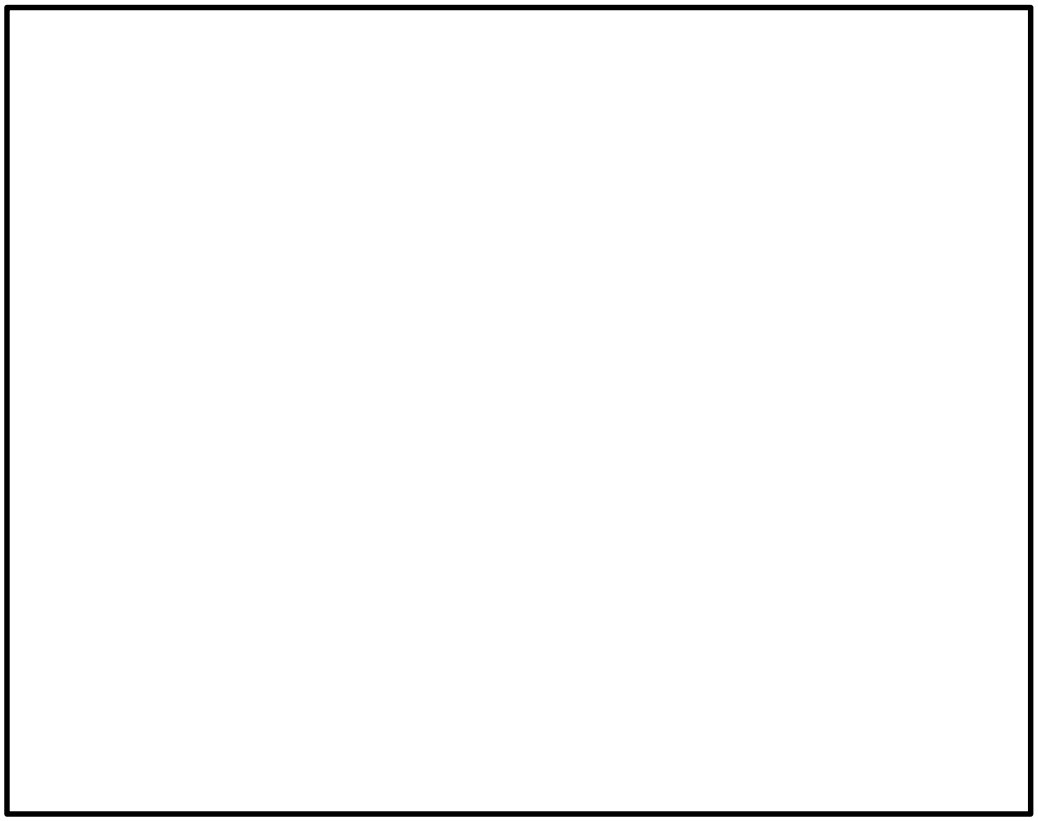


図 3.4-5　原子炉建屋原子炉棟 母屋（二次部材）　評価部位の位置

表 3.4-4 [redacted] 母屋（二次部材）　検討条件

評価対象部位*		支配幅 (m)	支持スパン (m)	断面係数 (cm^3)	せん断断面積 (mm^2)
EL. 64.08 m	H－390×300×10×16	2.57	7.70	1980	3580

注記　＊：支配スパンが長く断面の小さい部位を記載

b.　曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

σ_b　：曲げ応力度（N/mm^2）

M　：曲げモーメント（N･mm）

Z　：断面係数（mm^3）

c.　せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，次式をもとに計算した評価対象部位に生じるせん断応力度が許容限界を超えないことを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで，

τ　：せん断応力度（N/mm^2）

Q　：せん断力（N）

A_s　：せん断断面積（mm^2）

3.4.1.2　原子炉建屋付属棟

(1)　屋根スラブ

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度を算定し，許容限界を超えないことを確認する。なお，評価においては，表 3.3-2 に示すように，屋根スラブの落下により内包する外部事象防護対象施設を損傷させる可能性があることから，機能設計上の性能目標の内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことに対する許容限界は，終局耐力となるが，本評価では，屋根スラブについて，ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度の評価式にＦ値を 1.1 倍した弾性限耐力で評価する。

a.　応力解析モデル及び諸元

原子炉建屋付属棟のうち，鉄骨架構上の屋根スラブは母屋で支持された 1 方向スラブとして単位幅を取り出し，等分布荷重を受ける両端固定梁として応力を算定する。なお，原子炉建屋付属棟の鉄骨架構上の屋根スラブは，単一断面であることから，支持スパンの長い部位を対象に評価を行う。

原子炉建屋付属棟のうち，鉄筋コンクリート躯体上の屋根スラブは，鉄筋コンクリートの大梁又は壁で支持された四辺固定又は三辺固定の長方形版として応力を算定する。なお，原子炉建屋付属棟の鉄筋コンクリート躯体上の部位は，場所によって部材断面と支持条件が異なるため，全てを対象として評価を行う。

屋根スラブの評価モデル図を図 3.4-6 に，評価部位の位置を図 3.4-7 に，検討条件を表 3.4-5 に示す。

【両端固定梁】

・端部モーメント　$M_E = \frac{1}{12} W \cdot l^2$

・中央モーメント　$M_c = \frac{1}{24} W \cdot l^2$

・端部せん断力　　$Q_E = 0.5W \cdot l$

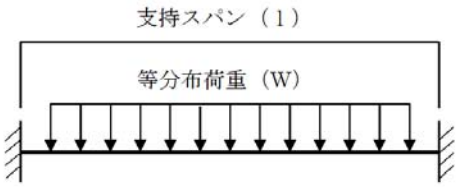


図 3.4-6　原子炉建屋付属棟 屋根スラブ　評価モデル図(両端固定梁)

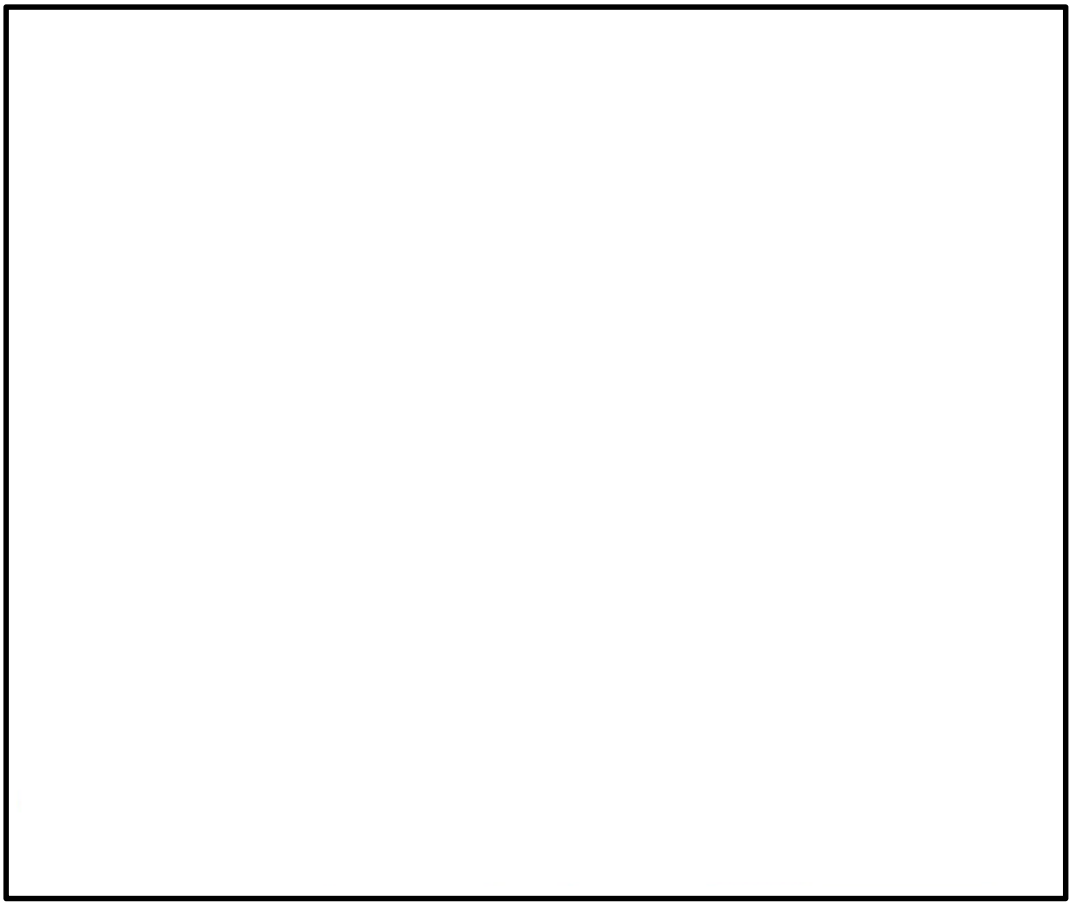


図 3.4-7　原子炉建屋付属棟 屋根スラブ　評価部位の位置

表 3.4-5（1/2）　　屋根スラブ　検討条件（鉄骨架構上）

評価対象部位*	スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持スパン (m)	配筋	配筋量 (片側) (mm^2/m)
EL. 30.0 m	150	100	1.866	D13@200	633.5

注記　＊：支持スパンが長い部位を記載

表 3.4-5 (2/2) [redacted] 屋根スラブ　検討条件（ＲＣ躯体上）

評価対象部位		スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持スパン (m)		配筋		配筋量(片側) (mm^2/m)	
高さ	記号			短辺	長辺	短辺	長辺	短辺	長辺
EL. 39.8 m	S30	300	249	5.00	6.45	D19@200	D16@200	1432.5	993.0
EL. 30.3 m	SE5-1	400	349	4.85	10.6	D19@200	D19@200	1432.5	1432.5
	SE5-2	400	349	4.85	10.6	D19@200	D19@200	1432.5	1432.5
	SE5-3	400	349	6.75	10.6	D19@200	D19@200	1432.5	1432.5
	SE5-4	400	349	6.55	10.6	D19@200	D19@200	1432.5	1432.5
	SE5-5	400	349	6.55	10.6	D19@200	D19@200	1432.5	1432.5
	SE5-6	400	349	4.05	10.6	D19@200	D19@200	1432.5	1432.5
	SE5-7	400	349	7.05	10.6	D19@200	D19@200	1432.5	1432.5
	SE5-8	400	349	3.45	10.6	D19@200	D19@200	1432.5	1432.5
	SE6-1	1100	1046	5.65	10.0	D25@200	D25@200	2533.5	2533.5
	SE6-2	1100	1046	5.90	10.0	D25@200	D25@200	2533.5	2533.5
EL. 22.0 m	S8-1	800	747	6.00	6.00	D22@200	D22@200	1935.5	1935.5
	S8-2	800	747	5.75	6.00	D22@200	D22@200	1935.5	1935.5
	S8-3	800	747	6.00	6.40	D22@200	D22@200	1935.5	1935.5
	S9	800	747	6.00	6.15	D22@100	D22@100	3871.0	3871.0
EL. 17.2 m	Sa	2000	1946	6.90	11.5	D25@200	D25@200	2533.5	2533.5
EL. 12.0 m	SM19	200	151	1.20	5.50	D16@200	D16@200	993.0	993.0
EL. 12.24	SM20	200	151	3.30	13.7	D16@200	D16@200	993.0	993.0
EL. 9.0 m	SB6a-1	800	745.5	1.10	5.70	D25@200	D25@200	2533.5	2533.5
	SB6a-2	800	745.5	1.50	2.35	D25@200	D25@200	2533.5	2533.5
	SB6a-3	800	745.5	0.55	3.50	D25@200	D25@200	2533.5	2533.5
	SB12a-1	1400	1338	7.60	10.2	D38@170	D38@170	6705.9	6705.9
	SB12a-2	1400	1338	5.80	8.20	D38@170	D38@170	6705.9	6705.9
	SB12a-3	1400	1338	4.85	10.0	D38@170	D38@170	6705.9	6705.9
	SB12a-4	1400	1338	5.00	8.20	D38@170	D38@170	6705.9	6705.9

b.　曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は，ＲＣ－Ｎ規準に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで，

σ_t　：鉄筋の引張応力度（N/mm^2）

M　：曲げモーメント（N･mm）

a_t　：引張鉄筋断面積（mm^2）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

c.　面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価は，ＲＣ－Ｎ規準に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断応力度が，次式をもとに計算した許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで，

Q_A　：許容面外せん断力（N）

b　：断面の幅（mm）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

α　：許容せん断力の割り増し係数

（2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。）

f_s　：コンクリートの短期許容せん断応力度（N/mm^2）

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

ここで，

M　：曲げモーメント（N･mm）

Q　：せん断力（N）

d　：断面の有効せい（mm）

(3)　母屋（二次部材）

母屋（二次部材）における曲げモーメント及びせん断力による応力度を算定し，許容限界を超えないことを確認する。

a.　応力解析モデル及び諸元

母屋は鉄骨架構で支持されたスパンの支配幅を取り出し，等分布荷重を受ける単純梁（両端ピン支持の梁）として応力を算定する。なお，原子炉建屋付属棟の屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であることから，支持スパンが長く，屋根面の支配面積の大きな母屋が最も厳しい条件となる。また，原子炉建屋付属棟の母屋は断面の異なる複数の鉄骨部材を使用しているため，部材ごとに条件の最も厳しい部位を対象に評価を行う。

母屋の評価モデル図を図 3.4-8 に，評価部位の位置を図 3.4-9 に，検討条件を表 3.4-6 に示す。

【単純梁】

・中央モーメント　$M_c = \frac{1}{8} W \cdot l^2$

・端部せん断力　$Q_E = 0.5W \cdot l$

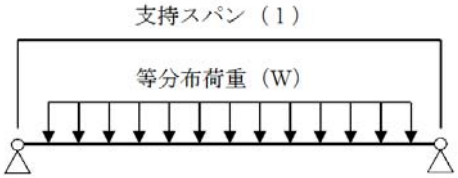


図 3.4-8　原子炉建屋付属棟 母屋（二次部材）　評価モデル図(単純梁)

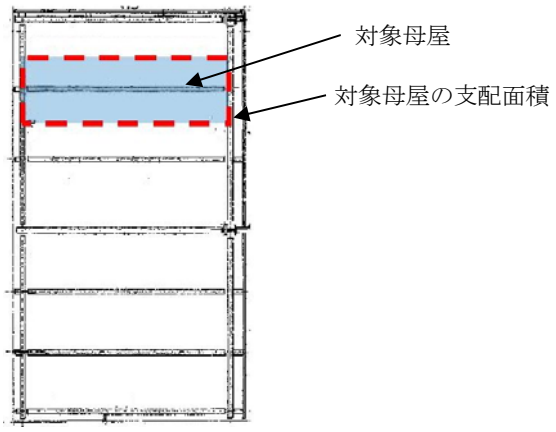


図 3.4-9　原子炉建屋付属棟 母屋（二次部材）　評価部位の位置

表 3.4-6 [redacted] 母屋（二次部材） 検討条件

評価対象部位		支配幅 (m)	支持スパン (m)	断面係数 (cm^3)	せん断断面積 (mm^2)
EL. 35.0 m	H－400×200× 8×13	1.782	5.200	1180	2992
	H－500×200×10×16	1.822	6.500	1870	4680
	H－500×200×10×16	1.782	6.575	1870	4680
	H－600×300×14×25	1.825	6.575	4780	7700
EL. 30.3 m	H－400×200× 8×13	1.940	5.744	1180	2992
EL. 30.0 m	H－450×200× 9×14	2.067	4.944	1460	3798
EL. 22.0 m	H－350×175× 7×11	1.825	3.700	771	2296
	H－600×200×11×17	1.994	7.125	2520	6226
	H－600×200×11×17	1.940	7.325	2520	6226
	H－600×200×11×17	1.825	7.350	2520	6226
	H－600×300×14×25	3.386	7.325	4780	7700

注記 ＊：支持面積が大きくなる部位を記載

b. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）

M ：曲げモーメント（N･mm）

Z ：断面係数（mm^3）

c. せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，次式をもとに計算した評価対象部位に生じるせん断応力度が許容限界を超えないことを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで，

τ ：せん断応力度（N/mm^2）

Q ：せん断力（N）

A_s ：せん断断面積（mm^2）

3.4.1.3　タービン建屋

(1)　屋根スラブ

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度を算定し，許容限界を超えないことを確認する。なお，評価においては，表 3.3-3 に示すように，屋根スラブの落下により内包する外部事象防護対象施設を損傷させる可能性があることから，機能設計上の性能目標の内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことに対する許容限界は，終局耐力となるが，本評価では，屋根スラブについて，ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度の評価式にＦ値を 1.1 倍した弾性限耐力で評価する。

a.　応力解析モデル及び諸元

主トラス上の屋根スラブ（EL. 40.45 m）は母屋で支持された 1 方向スラブとして単位幅を取り出し，等分布荷重を受ける両端固定梁として応力を算定する。なお，主トラス上の屋根スラブは，単一断面であり，屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であることから，支持スパンの長い部位を対象に評価を行う。

鉄筋コンクリート躯体上の屋根スラブ（EL. 28.0 m，33.0 m）は，鉄筋コンクリートの大梁または壁で支持された四辺固定の長方形版として応力を算定する。なお，鉄筋コンクリート上の屋根スラブは単一断面であり，屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であるため，支持スパンが短辺及び長辺で最大の部位を対象に評価を行う。

屋根スラブの評価モデル図を図 3.4-10 に，評価部位の位置を図 3.4-11 に，検討条件を表 3.4-7 に示す。

【両端固定梁】

・端部モーメント　$M_E = \frac{1}{12} W \cdot l^2$

・中央モーメント　$M_c = \frac{1}{24} W \cdot l^2$

・端部せん断力　　$Q_E = 0.5W \cdot l$

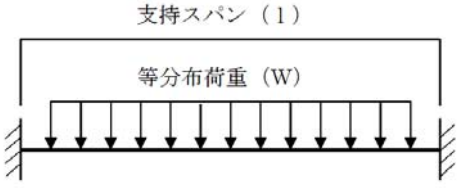


図 3.4-10　タービン建屋 屋根スラブ　評価モデル図(両端固定梁)

図 3.4-11 (1/2) 屋根スラブ　評価部位の位置（主トラス上：EL. 40.45 m）

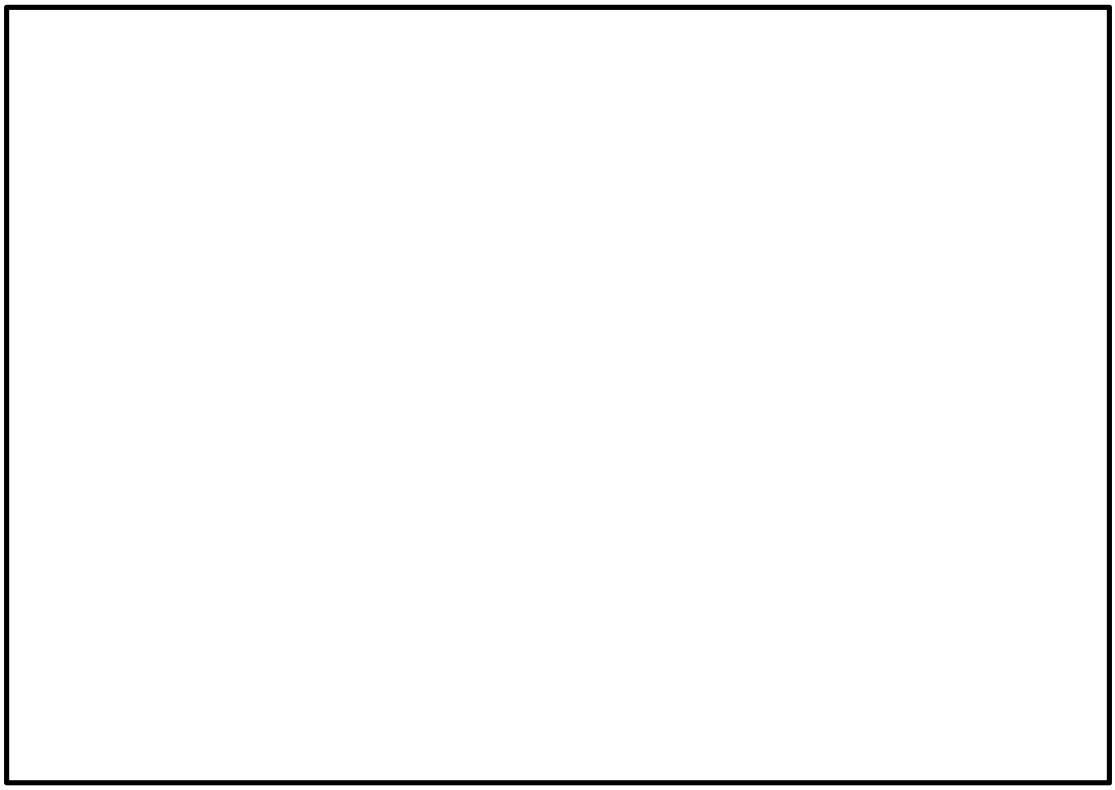


図 3.4-11 (2/2) 屋根スラブ　評価部位の位置（ＲＣ躯体上：EL. 28.0 m）

表 3.4-7（1/2） [redacted] 屋根スラブ　検討条件（主トラス上）

評価対象部位*	スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持スパン (m)	配筋	配筋量(片側) (mm^2/m)
EL. 40.45 m	100	50	2.08	D13@200	633.5

注記　＊：支持スパンの長い部位を記載

表 3.4-7（2/2） [redacted] 屋根スラブ　検討条件（ＲＣ躯体上）

評価対象部位*	スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持スパン (m)		配筋		配筋量(片側) (mm^2/m)	
			短辺	長辺	短辺	長辺	短辺	長辺
EL. 28.0 m	300	299	10.0	12.0	D19@200	D19@200	1432.5	1432.5

注記　＊：支持スパンが短辺及び長辺で最大の部位を記載

b.　曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は，ＲＣ－Ｎ規準に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで，

σ_t　：鉄筋の引張応力度（N/mm^2）

M　：曲げモーメント（N･mm）

a_t　：引張鉄筋断面積（mm^2）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

c.　面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価は，ＲＣ－Ｎ規準に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断応力度が，次式をもとに計算した許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで，

Q_A　：許容面外せん断力（N）

b　：断面の幅（mm）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

α　：許容せん断力の割り増し係数

（2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。）

f_s　：コンクリートの短期許容せん断応力度（N/mm^2）

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

ここで，

M　：曲げモーメント（N･mm）

Q　：せん断力（N）

d　：断面の有効せい（mm）

(2) 主トラス

主トラスは，3 次元フレームモデルによる応力解析より主トラスの応力度を算定し，各許容限界を超えないことを確認する。

応力解析は，3 次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析に使用するコードは「ＤＹＮＡ２Ｅ」である。なお，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-2　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＤＹＮＡ２Ｅ」に示す。

a. 応力解析モデル及び諸元

応力解析モデルは，タービン建屋については EL.18.0m より上部の耐震壁，柱，梁，主トラス及び屋根スラブをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデル図を図 3.4-12 に，主トラスの部材リストを表 3.4-8 に，材料物性値を表 3.4-9 に示す。

解析モデルに使用する要素は，シェル要素，梁要素及びトラス要素とする。また，解析モデルの脚部は固定とする。

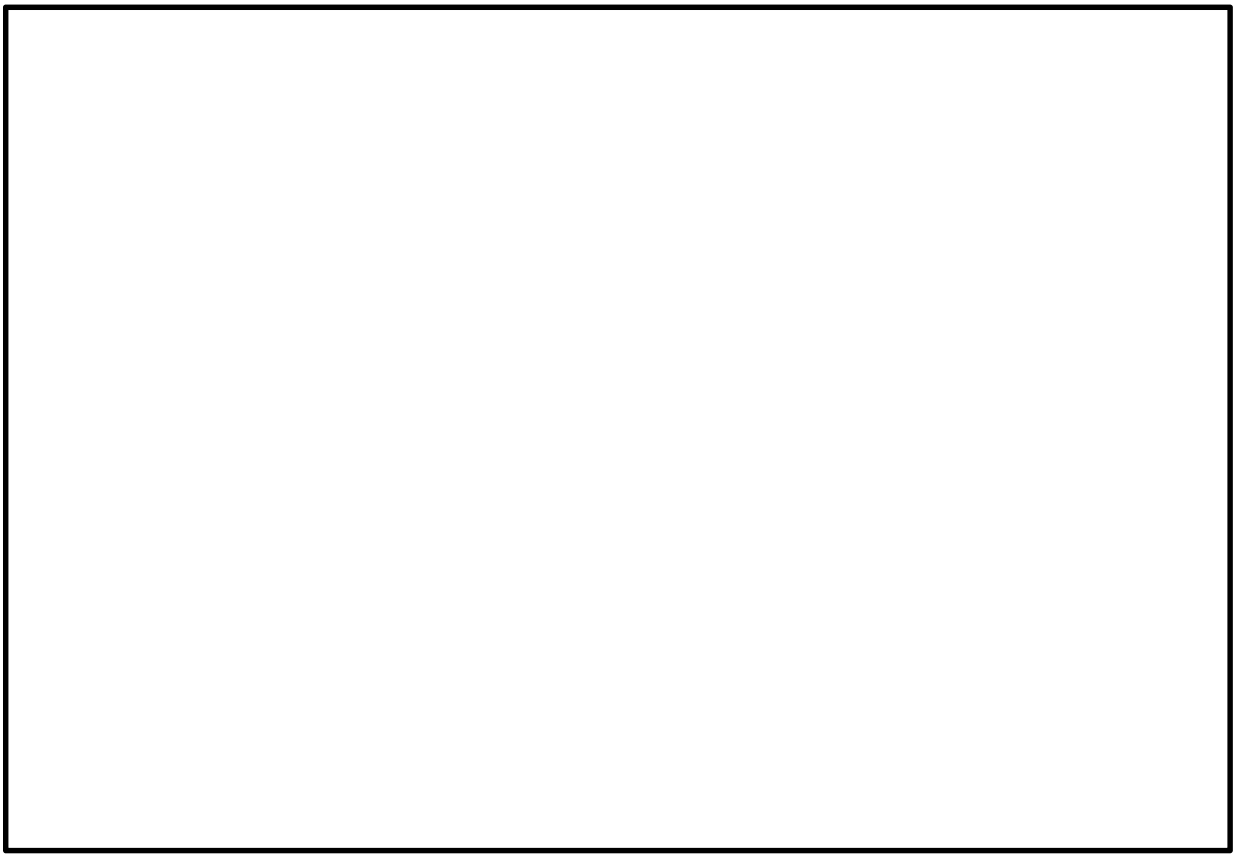


図 3.4-12　タービン建屋 主トラス　解析モデル図

表 3.4-8　タービン建屋 主トラス　部材リスト

部　位	部　材	断面積 A (cm^2)	断面 2 次 モーメント I (cm^4)
上弦材・下弦材	H－428×407×20×35	360.7	119000
斜材・束材	$2L_S$－200×200×20	152.0	—
束材	$2L_S$－200×200×15	115.5	—
斜材	$2L_S$－150×150×19	106.8	—
束材	$2L_S$－150×150×15	85.48	—
斜材	$2L_S$－130×130×12	59.52	—
斜材	$2L_S$－100×100×10	38.00	—
斜材・束材	$2L_S$－130×130×9	45.48	—
母屋	H－396×302×12×19	161.9	46700
下弦面つなぎ梁	H－248×249×8×13	84.70	9930
水平ブレース	CT－175×175×7×11	31.57	—

表 3.4-9　タービン建屋 主トラス　材料物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)
鉄筋コンクリート：F_c22.1	2.21×10^4	9.21×10^3
鉄　　骨　　：SS400*	2.05×10^5	7.9×10^4

注記　＊：建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが現在の規格（SS400）に読み替え

b.　鋼材断面の評価法

断面の評価は，S 規準に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお，許容限界については，表 3.3-3 に示すように，内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認する。各部材の構造健全性評価においては，弾性限耐力*1が基本となるが，一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は，その部材に対して，修正若林式*2, *3 及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い，構造健全性を評価する。

注記　＊1：弾性限耐力として，S 規準の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用する。

＊2：鉄骨Ｘ型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol.37B,pp.303-316,1991（谷口元，加藤勉ほか）

＊3：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第76巻 第661号,pp571-580,2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

（圧縮）

$$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1.0$$

ただし，

$$\sigma_c=\frac{N_c}{A}$$

$$\sigma_b=\frac{M}{Z}$$

ここで，

σ_c	：圧縮応力度（N/mm^2）	σ_b	：曲げ応力度（N/mm^2）
N_c	：圧縮軸力（N）	A	：軸断面積（mm^2）
M	：曲げモーメント（N･mm）	Z	：断面係数（mm^3）
f_c	：弾性限圧縮応力度（N/mm^2）		
f_b	：弾性限曲げ応力度（N/mm^2）		

（引張）

$$\frac{\sigma_t+\sigma_b}{f_t}\leqq 1.0$$

ただし，

$$\sigma_t=\frac{N_t}{A}$$

$$\sigma_b=\frac{M}{Z}$$

ここで，

σ_t	：引張応力度（N/mm^2）	σ_b	：曲げ応力度（N/mm^2）
N_t	：引張軸力（N）	A	：軸断面積（mm^2）
M	：曲げモーメント（N･mm）	Z	：断面係数（mm^3）
f_t	：弾性限引張応力度（N/mm^2）		

（座屈耐力）

・軸力のみを負担する部材の評価方法

$$n_0 = 1 - 0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \qquad (\lambda \leqq \Lambda)$$

ただし，

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

ここで，

λ　：圧縮材の細長比

Λ　：限界細長比

E　：ヤング係数

【修正若林：圧縮側耐力曲線】

$$\frac{n}{n_0} = \frac{1}{\left(\bar{\zeta} - P_n\right)^{1/6}} \leqq 1$$

ただし，

$$n = \frac{N}{N_y}$$

$$P_n = \left(n_E/4\right) - 5$$

$$n_E = \frac{\pi^2 E}{\lambda_e^2 \sigma_y}$$

ここで，

N　：軸力

N_y　：降伏軸力

$\bar{\zeta}$　：無次元化圧縮側累積塑性歪

・軸力のみを負担する部材の評価方法

$$M_c = M_P \qquad \left(\lambda_b \leqq {}_p\lambda_b\right)$$

$$M_c = \left(1.0 - 0.4\frac{\lambda_b - {}_p\lambda_b}{{}_e\lambda_b - {}_p\lambda_b}\right)M_p \qquad \left({}_p\lambda_b < \lambda_b \leqq {}_e\lambda_b\right)$$

$$M_c = \frac{1}{\lambda_b^2} M_p \qquad (\lambda_b > {}_e\lambda_b)$$

ただし，

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_p}{M_e}}$$

$${}_e\lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}}$$

$${}_p\lambda_b = 0.6 + 0.3\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$$

$$M_e = C_b \sqrt{\frac{\pi^4 E I_y \cdot E I_w}{{}_k l_b^4} + \frac{\pi^2 E I_y \cdot G J}{l_b^2}}$$

$$M_p = F_y \cdot Z_p$$

$$C_b = 1.75 + 1.05\left(\frac{M_2}{M_1}\right) + \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 \leqq 2.3$$

ここで，

M_c ：横座屈限界耐力
M_p ：全塑性モーメント
F_y ：降伏強さ
Z_p ：塑性断面係数
λ_b ：横座屈細長比
${}_e\lambda_b$ ：弾性限界細長比
${}_p\lambda_b$ ：塑性限界細長比
M_e ：弾性横座屈モーメント
EI_y ：弱軸まわりの曲げ剛性
EI_w ：曲げねじり剛性
GJ ：サンブナンねじり剛性
${}_k l_b$ ：横座屈長さ
l_b ：材長あるいは横座屈補剛間長さ
C_b ：モーメント係数

(3)　母屋（二次部材）

母屋（二次部材）における曲げモーメント及びせん断力による応力度を算定し，許容限界を超えないことを確認する。

a.　応力解析モデル及び諸元

母屋は主トラスで支持されたスパンの支配幅を取り出し，等分布荷重を受ける単純梁（両端ピン支持の梁）として応力を算定する。なお，タービン建屋の母屋に使用する鉄骨部材は同一断面であり，屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であることから，支持スパンが長く，支配面積の大きな部位を対象に評価を行う。

母屋の評価モデル図を図 3.4-13 に，評価部位の位置を図 3.4-14 に，検討条件を表 3.4-10 に示す。

【単純梁】

・中央モーメント　$M_c = \frac{1}{8} W \cdot l^2$

・端部せん断力　$Q_E = 0.5W \cdot l$

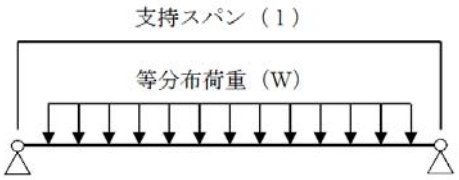


図 3.4-13　タービン建屋 母屋（二次部材）　評価モデル図(単純梁)

図 3.4-14 [　　] 母屋（二次部材）　評価部位の位置（EL.40.45m）

表 3.4-10 [redacted] 母屋（二次部材） 検討条件

評価対象部位		支配幅 (m)	支持スパン (m)	塑性断面係数 (cm^3)	せん断断面積 (mm^2)
EL.40.45 m	H－396×302×12×19	2.31	13.0	2620	4296

b. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）

M ：曲げモーメント（N･mm）

Z ：断面係数（mm^3）

c. せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，次式をもとに計算した評価対象部位に生じるせん断応力度が許容限界を超えないことを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで，

τ ：せん断応力度（N/mm^2）

Q ：せん断力（N）

A_s ：せん断断面積（mm^2）

3.4.1.4　使用済燃料乾式貯蔵建屋

(1)　屋根スラブ

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度を算定し，許容限界を超えないことを確認する。なお，評価においては，表 3.3-4 に示すように，屋根スラブの落下により内包する外部事象防護対象施設を損傷させる可能性があることから，機能設計上の性能目標の内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことに対する許容限界は，終局耐力となるが，本評価では，屋根スラブについて，ＲＣ－Ｎ規準の短期許容応力度で評価する。

a.　応力解析モデル及び諸元

屋根スラブは 1 方向スラブとして単位幅を取り出し，等分布荷重を受ける両端固定梁として応力を算定する。なお，屋根スラブは単一断面及び単一スパンであるため，配筋量の最も少ない部位を対象に評価を行う。

屋根スラブの評価モデル図を図 3.4-15 に，評価部位の位置を図 3.4-16 に，検討条件を表 3.4-11 に示す。

【両端固定梁】

・端部モーメント　$M_E = \frac{1}{12} W \cdot l^2$

・中央モーメント　$M_c = \frac{1}{24} W \cdot l^2$

・端部せん断力　　$Q_E = 0.5W \cdot l$

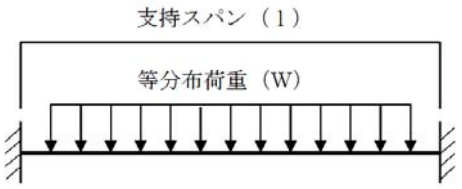
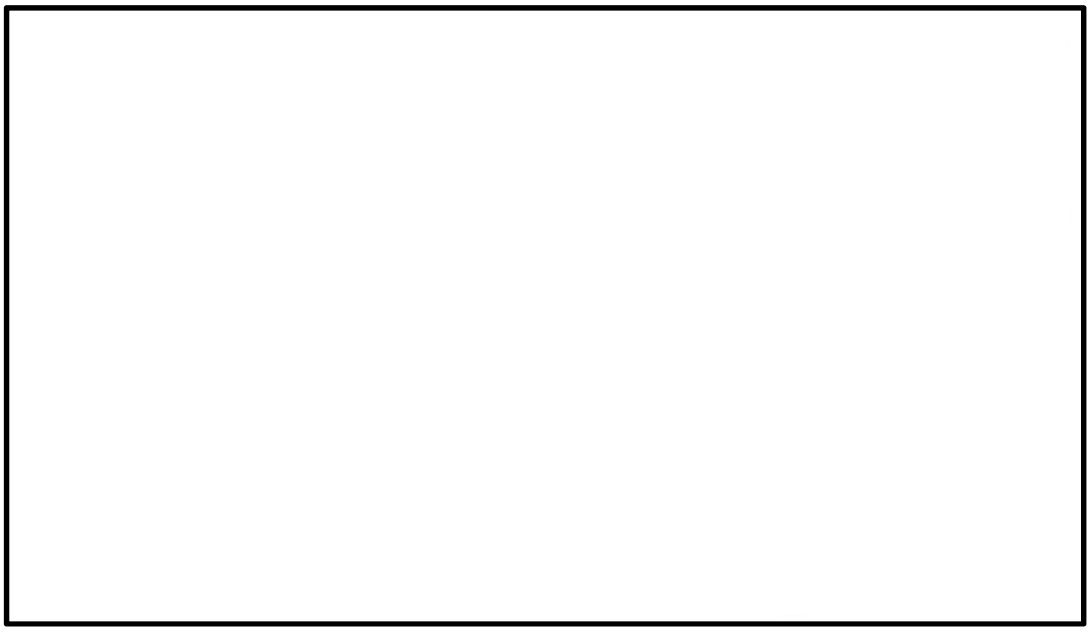


図 3.4-15　使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根スラブ　評価モデル図(両端固定梁)



注記　＊：寸法線は軸芯を示す。

図 3.4-16 [ ] 屋根スラブ　評価部位の位置（EL. 29.2m）

表 3.4-11 [ ] 屋根スラブ　検討条件

評価対象部位*	スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持スパン (m)	配筋	配筋量 (片側) (mm^2/m)
EL. 29.2m	450	368	2.425	D19@250	1148

注記　＊：配筋量が最も少ない部位を記載

b.　曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は，ＲＣ－Ｎ規準に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで，

σ_t　：鉄筋の引張応力度（N/mm^2）

M　：曲げモーメント（N･mm）

a_t　：引張鉄筋断面積（mm^2）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

c.　面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価は，ＲＣ－Ｎ規準に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断応力度が，次式をもとに計算した許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで，

Q_A　：許容面外せん断力（N）

b　：断面の幅（mm）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

α　：許容せん断力の割り増し係数（保守側に 1 とする。）

f_s　：コンクリートの短期許容せん断応力度（N/mm^2）

(2)　主トラス及びサブトラス（二次部材）

主トラスは，3 次元フレームモデルによる応力解析より主トラス及びサブトラス（二次部材）の応力度を算定し，許容限界を超えないことを確認する。

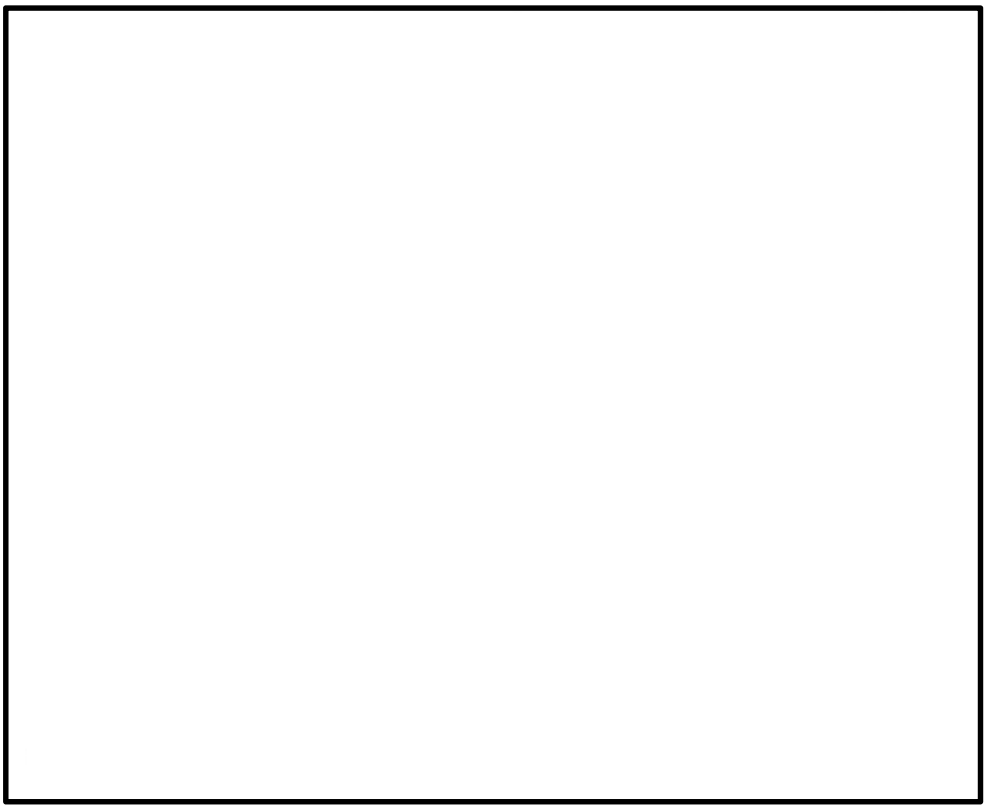
応力解析は，3 次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析に使用するコードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」である。なお，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

a.　応力解析モデル及び諸元

応力解析モデルは，使用済燃料乾式貯蔵建屋については，EL.7.05 m より上部の耐震壁，柱，梁，主トラス，サブトラス及び屋根スラブをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデル図を図 3.4-17 に，主トラス及びサブトラスの部材リストを表 3.4-12 に，材料物性値を表 3.4-13 に示す。

解析モデルに使用する要素は，シェル要素，梁要素及びトラス要素とする。また，解析モデルの脚部は固定とする。



備考：Xa～Xd はサブトラス識別用の仮設通り名を示す。

図 3.4-17（1/2）　使用済燃料乾式貯蔵建屋解析モデル図（EW 方向フレーム架構モデル図）

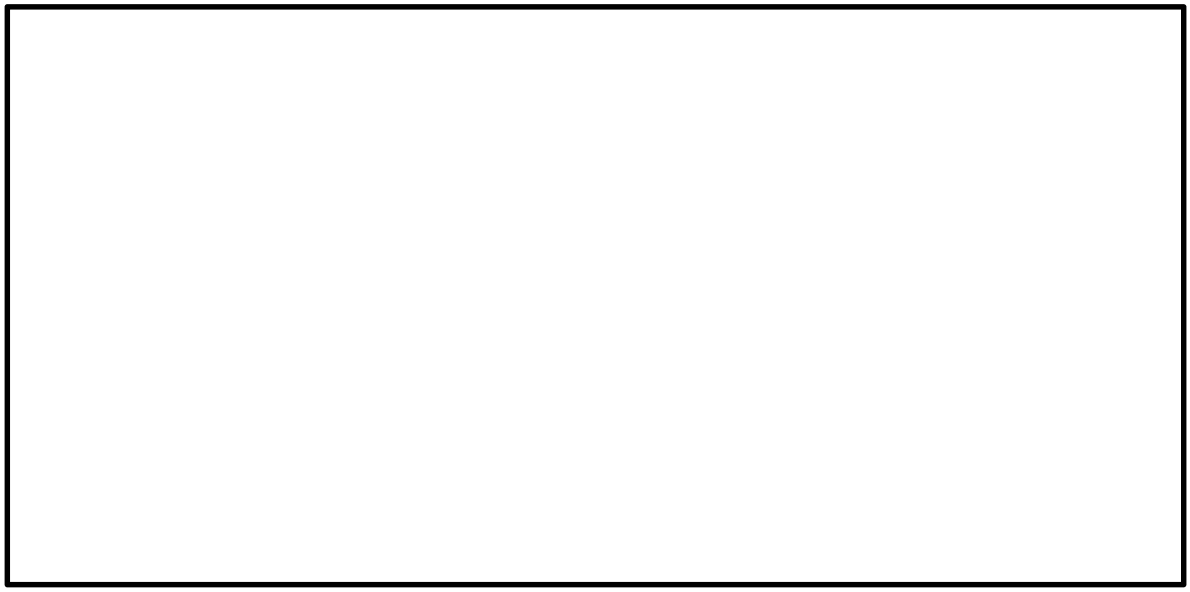


図 3.4-17（2/2）　使用済燃料乾式貯蔵建屋解析モデル図（NS 方向フレーム架構モデル図）

表 3.4-12　使用済燃料乾式貯蔵建屋 主トラス及びサブトラス部材リスト

部　位	部　材	断面積 A (cm^2)	断面 2 次 モーメント I (cm^4)
上弦材・下弦材	ＢＨ－500×400×16×28	295.0	137000
斜材・垂直材	ＢＨ－250×250×9×14	92.18	―
斜材	ＢＨ－300×300×12×16	130.9	―
斜材	ＢＨ－350×350×12×19	173.9	40300
垂直材	ＢＨ－298×299×9×14	109.5	18600
垂直材	ＢＨ－344×348×10×16	144.0	32800
上弦材・下弦材 （サブトラス）	Ｈ－175×175×7.5×11	51.43	2900
垂直材，斜材，方杖 （サブトラス）	ＣＴ－75×150×7×10	19.82	―

表 3.4-13　使用済燃料乾式貯蔵建屋 材料物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)
鉄筋コンクリート：Fc23.5	2.25×10^4	9.38×10^3
鉄　　骨：SS400 SM400A	2.05×10^5	7.90×10^4

b.　鋼材断面の評価法

断面の評価は，S 規準に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお，許容限界については，表 3.3-4 に示すように，内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認する。

（圧縮）

$$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{{}_c\sigma_b}{f_b}\leqq 1.0 \quad \text{かつ} \quad \frac{{}_t\sigma_b-\sigma_c}{f_t}\leqq 1.0$$

ただし，

$$\sigma_c=\frac{N_c}{A}$$

$${}_c\sigma_b=\frac{M}{Z_c}$$

$${}_t\sigma_b=\frac{M}{Z_t}$$

ここで，

σ_c　：圧縮応力度（N/mm^2）　　${}_c\sigma_b$　：圧縮側曲げ応力度（N/mm^2）

${}_t\sigma_b$　：引張り側曲げ応力度（N/mm^2）　　N_c　：圧縮軸力（N）

A　：軸断面積（mm^2）　　M　：曲げモーメント（N･mm）

Z_c　：圧縮側断面係数（mm^3）

Z_t　：引張側断面係数（mm^3）

f_c　：圧縮応力度（N/mm^2）

f_b　：曲げ応力度（N/mm^2）

f_t　：引張応力度（N/mm^2）

ただし，σ_c，${}_c\sigma_b$，${}_t\sigma_b$の値は絶対値とする。

(引張)

$$\frac{{}_{t}\sigma_{b}-\sigma_{c}}{f_{t}} \leqq 1.0 \qquad \text{かつ} \qquad \frac{\sigma_{c}}{f_{c}}+\frac{{}_{c}\sigma_{b}}{f_{b}} \leqq 1.0$$

ただし,

$$\sigma_{t}=\frac{N_{t}}{A}$$

$${}_{c}\sigma_{b}=\frac{M}{Z_{c}}$$

$${}_{t}\sigma_{b}=\frac{M}{Z_{t}}$$

ここで,

σ_{c} : 圧縮応力度 (N/mm^2)
${}_{c}\sigma_{b}$: 圧縮側曲げ応力度 (N/mm^2)
${}_{t}\sigma_{b}$: 引張り側曲げ応力度 (N/mm^2)
σ_{t} : 引張応力度 (N/mm^2)
N_{t} : 引張軸力 (N)
A : 軸断面積 (mm^2)
M : 曲げモーメント (N･mm)
Z_{c} : 圧縮側断面係数 (mm^3)
Z_{t} : 引張側断面係数 (mm^3)
f_{c} : 圧縮応力度 (N/mm^2)
f_{b} : 曲げ応力度 (N/mm^2)
f_{t} : 引張応力度 (N/mm^2)

ただし, σ_{c}, ${}_{c}\sigma_{b}$, ${}_{t}\sigma_{b}$の値は絶対値とする。

3.4.2　耐震壁に対する評価

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋について，建屋の質点系解析モデルを用いて，風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみ度を評価し，許容限界を超えないことを確認する。なお，降下火砕物の各質点系解析モデルの復元力特性の設定においては，降下火砕物堆積による鉛直荷重による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため，本評価では保守的に降下火砕物堆積による鉛直荷重を考慮しない。

原子炉建屋（原子炉棟及び付属棟），タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の質点系解析モデルの詳細は，添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」，添付書類「Ⅴ-2-11-2-12　タービン建屋の耐震性についての計算書」，添付書類「Ⅴ-2-2-4　使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書」による。

3.4.3　鉄骨架構に対する評価

原子炉建屋付属棟の鉄骨架構部は原子炉建屋原子炉棟及び原子炉建屋付属棟の鉄筋コンクリート部と一体となっており，柱脚及び鉄筋コンクリート部に接する梁端部は，鉄筋コンクリート躯体に剛接合されている。また，鉄骨部屋根スラブも鉄筋コンクリート部と一体的に施工されている。鉄骨部屋根スラブの面内剛性は，鉄骨架構の水平剛性に比べ十分に大きく，屋根面は剛床とみなせる。従って，風荷重に対し，鉄骨架構は鉄筋コンクリート部の層間変形に追従すると考えられる。

風荷重に対する建屋変形は，せん断変形＋曲げ変形となるが，曲げ変形は，せん断変形に比べワンオーダー以上小さいことから，曲げ変形を考慮不要とすることで，層間変位÷層の高さ＝耐震壁のせん断ひずみとなり，「鉄骨架構の層間変形角＝耐震壁のせん断ひずみ」と考えられ，耐震壁と同様に質点系解析モデルを用いて，許容限界を超えないことを確認する。

4.　強度評価結果

4.1　屋根に対する評価結果

4.1.1　原子炉建屋原子炉棟

(1)　屋根スラブ

「3.4　評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-1 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，曲げモーメントに対する必要鉄筋量を超えないこと，発生する面外せん断力が短期許容応力度を超えないことを確認した。

表 4.1-1 [redacted] 屋根スラブ評価結果

評価対象部位		EL. 64.08 m
厚さ t(mm)		100
有効せい d(mm)		50
配　筋 (鉄筋断面積　mm^2)		D13@180 (703.9)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M(kN･m)	5.1
	鉄筋応力度 σ_t(N/mm^2)	165.7
	許容値 (N/mm^2)	345
	検定値	0.49
せん断力	発生せん断力 Q(kN)	13.5
	せん断応力度 τ (N/mm^2)	0.309
	せん断スパン比による割増し係数　α	1.00
	許容値 (N/mm^2)	1.06
	検定値	0.30

(2) 主トラス

「3.4 評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-2 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度が弾性限界耐力*を超えないことを確認した。

表 4.1-2 [redacted] 主トラスの評価結果

評価対象部位		発生応力	応力度 (N/mm^2)	許容値 (N/mm^2)	検定値
EL. 64.08 m	上弦材	圧縮	35.4	256	0.26
		曲げ	29.5	254	
	下弦材	引張	164.1	258	0.76
		曲げ	30.4	258	
	斜材	引張	204.9	258	0.80
	束材	圧縮	150.3	172	0.88

注記 ＊：「S 規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

(3) 母屋

「3.4 評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-3 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，評価対象部位に生じる曲げモーメント及びせん断による応力度が弾性限界耐力*を超えないことを確認した。

表 4.1-3 [redacted] 母屋の評価結果

評価対象部位	発生応力	応力度 (N/mm^2)	許容値 (N/mm^2)	検定値
EL. 64.08 m	曲げ	118.8	258	0.47
	せん断	34.2	148	0.24

注記 ＊：「S 規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

4.1.2　原子炉建屋付属棟

(1)　屋根スラブ

「3.4　評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-4 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，曲げモーメントに対する必要鉄筋量を超えないこと，発生する面外せん断力が，終局耐力*を超えないことを確認した。

表 4.1-4 [redacted] 屋根スラブ評価結果

評価対象部位		EL. 30.0 m	EL. 30.30 m (SE5-7)	
			短辺	長辺
厚さ t(mm)		150	400	400
有効せい d(mm)		100	349	349
配　筋 (鉄筋断面積　mm^2)		D13@200 (633.5)	D19@200 (1432.5)	D19@200 (1432.5)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M(kN･m)	8.0	137.6	68.8
	鉄筋応力度 σ_t(N/mm^2)	144.4	314.6	157.3
	許容値 (N/mm^2)	379	379	379
	検定値	0.39	0.84	0.42
せん断力	発生せん断力 Q(kN)	25.6	145.7	131.7
	せん断応力度 τ (N/mm^2)	0.293	0.478	0.432
	せん断スパン比による割増し係数　α	1.00	1.08	1.60
	許容値 (N/mm^2)	1.06	1.14	1.69
	検定値	0.28	0.42	0.26

注記　＊：「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用した弾性限界耐力を超えないことを確認

(2) 母屋

「3.4 評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-5 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，評価対象部位に生じる曲げモーメント及びせん断による応力度から崩壊機構が形成されないこと*を確認した。

表 4.1-5 [redacted] 母屋の評価結果

評価対象部位	発生応力	応力度 (N/mm^2)	許容値 (N/mm^2)	検定値
EL. 30.30 m	曲げ	188.5	258	0.74
	せん断	51.8	148	0.35

注記 ＊：「S規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきF値×1.1 を適用

4.1.3　タービン建屋

(1)　屋根スラブ

「3.4　評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-6 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，曲げモーメントに対する必要鉄筋量を超えないこと，発生する面外せん断力が，終局耐力*を超えないことを確認した。

表 4.1-6 [　　] 屋根スラブ評価結果

評価対象部位		EL. 40.45 m	EL. 28.00 m	
			短辺	長辺
厚さ t(mm)		100	350	350
有効せい d(mm)		50	299	299
配　筋 (鉄筋断面積　mm^2)		D13@200 (633.5)	D19@200 (1432.5)	D19@200 (1432.5)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M(kN･m)	4.7	116.3	58.2
	鉄筋応力度 σ_t(N/mm^2)	169.6	310.4	155.3
	許容値 (N/mm^2)	379	379	379
	検定値	0.45	0.82	0.41
せん断力	発生せん断力 Q(kN)	13.5	101.4	95.2
	せん断応力度 τ (N/mm^2)	0.309	0.388	0.364
	せん断スパン比による割増し係数　α	1.00	1.00	1.31
	許容値 (N/mm^2)	1.06	1.06	1.38
	検定値	0.30	0.37	0.27

注記　＊：「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づきＦ値×1.1 を適用した弾性限界耐力を超えないことを確認

(2) 主トラス

「3.4 評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-7 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度から，崩壊機構が形成されないこと*1を確認した。

表 4.1-7 [redacted] 主トラスの評価結果

評価対象部位		発生応力	応力度 (N/mm^2)	許容値 (N/mm^2)	検定値
EL. 40.45 m	上弦材	圧縮	40.9	257	0.36
		曲げ	49.2	255	
	下弦材	圧縮	68.0	154	0.93
		曲げ	116.3	242	
	斜材	引張	229.3	258	0.89
	束材	圧縮	171.4	176	0.98

注記 ＊1：「S 規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用した弾性限界耐力を超えないことを確認

(3) 母屋

「3.4 評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-8 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，評価対象部位に生じる曲げモーメント及びせん断による応力度から，崩壊機構が形成されないことを確認した。

表 4.1-8 [redacted] 母屋の評価結果

評価対象部位	発生応力	応力度 (N/mm^2)	許容値 (N/mm^2)	検定値
EL. 40.45 m	曲げ	252.7	258	0.98
	せん断	47.5	148	0.33

4.1.4　使用済燃料乾式貯蔵建屋

(1)　屋根スラブ

「3.4　評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-9 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，曲げモーメントに対する必要鉄筋量を超えないこと，発生する面外せん断力が終局耐力を超えないこと*を確認した。

表 4.1-9 [　　] 屋根スラブ評価結果

評価対象部位		EL 29.20 m
厚さ t(mm)		450
有効せい d(mm)		368
配　筋 (鉄筋断面積　mm^2)		D19@250 (1148.0)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M(kN･m)	10.4
	鉄筋応力度 σ_t(N/mm^2)	28.2
	許容値 (N/mm^2)	345
	検定値	0.09
せん断力	発生せん断力 Q(kN)	25.7
	せん断応力度 τ (N/mm^2)	0.0799
	せん断スパン比による割増し係数　α	1.00
	許容値 (N/mm^2)	1.08
	検定値	0.074

注記　＊：「ＲＣ-Ｎ規準」の短期許容応力度を超えないことを確認

(2)　主トラス

「3.4　評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-10 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度から，崩壊機構が形成されないこと*を確認した。

表 4.1-10 [redacted] 主トラスの評価結果

評価対象部位		発生応力	応力度 (N/mm²)	許容値 (N/mm²)	検定値
EL. 29.20 m	上弦材	圧縮	1.6	219	0.24
		曲げ	53.4	233	
	下弦材	引張	96.7	235	0.54
		曲げ	28.6	233	
	斜材	引張	95.3	235	0.41
	垂直材	圧縮	90.2	227	0.40

注記　＊：「S規準」の短期許容応力度を超えないことを確認

(3)　サブトラス

「3.4　評価方法」に基づいた評価結果を表 4.1-11 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度から，崩壊機構が形成されないこと*を確認した。

表 4.1-11 [redacted] サブトラスの評価結果

評価対象部位		発生応力	応力度 (N/mm²)	許容値 (N/mm²)	検定値
EL. 29.20 m	上弦材	引張	2.2	235	0.12
		曲げ	24.5	230	
	下弦材	圧縮	62.8	93	0.78
		曲げ	23.6	230	
	斜材	圧縮	89.2	98	0.92
	垂直材	圧縮	56.5	180	0.32

注記　＊：「S規準」の短期許容応力度を超えないことを確認

4.2　耐震壁に対する評価結果

4.2.1　原子炉建屋原子炉棟及び原子炉建屋付属棟

「3.4　評価方法」に基づいた評価結果を表 4.2-1 に示す。

風荷重による水平荷重によって，最大せん断ひずみが許容限界（2.0×10^{-3}）を超えないことを確認した。

表 4.2-1（1/2）　原子炉建屋原子炉棟及び原子炉建屋付属棟 耐震壁の評価結果（NS 方向）

評価項目	要素番号	せん断ひずみ （$\times10^{-3}$）	許容限界 （$\times10^{-3}$）
せん断ひずみ	1	0.0028	2.0
	2	0.0066	2.0
	3	0.0012	2.0
	4	0.0022	2.0
	5	0.0024	2.0
	6	0.0021	2.0
	7	0.0022	2.0
	8	0.0015	2.0

表 4.2-1（2/2）　原子炉建屋原子炉棟及び原子炉建屋付属棟 耐震壁の評価結果（EW 方向）

評価項目	要素番号	せん断ひずみ （$\times10^{-3}$）	許容限界 （$\times10^{-3}$）
せん断ひずみ	1	0.0033	2.0
	2	0.0075	2.0
	3	0.0017	2.0
	4	0.0022	2.0
	5	0.0023	2.0
	6	0.0020	2.0
	7	0.0025	2.0
	8	0.0018	2.0

4.2.2　タービン建屋

「3.4　評価方法」に基づいた評価結果を表 4.2-2 に示す。

風荷重による水平荷重によって，最大せん断ひずみが許容限界（4.0×10^{-3}）を超えないことを確認した。

表 4.2-2（1/2）　タービン建屋 耐震壁の評価結果（NS 方向）

評価項目	要素番号	せん断ひずみ ($\times10^{-3}$)	許容限界 ($\times10^{-3}$)
せん断ひずみ	1	0.0074	4.0
	2	0.0056	4.0
	3	0.0032	4.0

表 4.2-2（2/2）　タービン建屋 耐震壁の評価結果（EW 方向）

評価項目	要素番号	せん断ひずみ ($\times10^{-3}$)	許容限界 ($\times10^{-3}$)
せん断ひずみ	1	0.0019	4.0
	2	0.0024	4.0
	3	0.0021	4.0

4.2.3　使用済燃料乾式貯蔵建屋

「3.4　評価方法」に基づいた評価結果を表 4.2-3 に示す。

風荷重による水平荷重によって，最大せん断ひずみが許容限界（4.0×10^{-3}）を超えないことを確認した。

表 4.2-3（1/2）　使用済燃料乾式貯蔵建屋 耐震壁の評価結果（NS 方向）

評価項目	要素番号	せん断ひずみ（$\times10^{-3}$）	許容限界（$\times10^{-3}$）
せん断ひずみ	BM03	0.0025	4.0
	BM02	0.0033	4.0

表 4.2-3（2/2）　使用済燃料乾式貯蔵建屋 耐震壁の評価結果（EW 方向）

評価項目	要素番号	せん断ひずみ（$\times10^{-3}$）	許容限界（$\times10^{-3}$）
せん断ひずみ	BM03	0.0052	4.0
	BM02	0.0061	4.0

4.3　鉄骨架構に対する評価結果

4.3.1　原子炉建屋付属棟

「3.4　評価方法」に基づいた評価結果を表 4.3-1 に示す。

風荷重による水平荷重によって，層間変形角が許容限界（1/200）を超えないことを確認した。

表 4.3-1（1/2）　原子炉建屋付属棟 鉄骨架構の評価結果（NS 方向）

評価項目	要素番号	層間変形角	許容限界
層間変形角	4	1/454545	1/200
	5	1/416666	1/200
	6	1/476190	1/200
	7	1/454545	1/200

表 4.3-1（2/2）　原子炉建屋付属棟 鉄骨架構の評価結果（EW 方向）

評価項目	要素番号	層間変形角	許容限界
層間変形角	4	1/454545	1/200
	5	1/434782	1/200
	6	1/500000	1/200
	7	1/400000	1/200

Ⅴ-3-別添 2-2　防護対策施設の強度計算の方針

目次

1. 概要 1
2. 強度評価の基本方針 1
2.1 強度評価の対象施設 1
3. 構造強度設計 2
3.1 構造強度の設計方針 2
3.2 機能維持の方針 2
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界 4
4.1 荷重及び荷重の組合せ 4
4.2 許容限界 8
5. 強度評価方法 10
5.1 防護対策施設 10
5.1.1 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設 10
6. 適用規格 15

1. 概要

本資料は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し，技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「Ⅴ-1-1-2-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「Ⅴ-1-1-2-4-3」という。）に設定している降下火砕物の影響を考慮する施設が，降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「Ⅴ-1-1-2-4-1　火山への配慮に関する基本方針」（以下「Ⅴ-1-1-2-4-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち，防護対策施設に対する具体的な計算の方法及び結果は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-2-1　防護対策施設の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は，「2.1　強度評価の対象施設」に示す評価対象施設について，「4.1　荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わすべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力が，「4.2　許容限界」で示す許容限界内にあることを，「5.　強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し，「6.　適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1　強度評価の対象施設

Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4.　要求機能及び性能目標」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち，強度評価の対象施設（以下「評価対象施設」という。）となる防護対策施設を表 2-1 に示す。なお，防護対策施設以外の評価対象施設の強度評価の方針は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-1　火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す。

表 2-1　評価対象施設

施設分類	評価対象施設
防護対策施設	・中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

3. 構造強度設計

Ⅴ-1-1-2-4-1で設定している降下火砕物特性に対し，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が，構造強度設計上の性能目標を達成するように，Ⅴ-1-1-2-4-3の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて，構造強度の設計方針を設定する。

防護対策施設の構造強度の設計方針を設定し，想定する荷重及び荷重の組合せを設定し，それらの荷重に対し，各施設の構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を示す。

(1) 防護対策施設

a. 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）による荷重に対し，降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して，原子炉建屋付属棟屋上面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために，30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

3.2 機能維持の方針

Ⅴ-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために，「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえⅤ-1-1-2-4-1の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して，各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 防護対策施設

a. 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

(a) 構造設計

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-2-4-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は，中央制御室換気系冷凍機へ降下火砕物が堆積することを防止する防護鋼板，防護鋼板を支持する架構及び架構をコンクリート基礎に固定する基礎ボルトから構成される。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては，降下火砕物等が堆積する防護鋼板に作用し，架構に伝達する構造とする。また，風荷重は，架構を介して基礎ボルトに作用する構造とする。

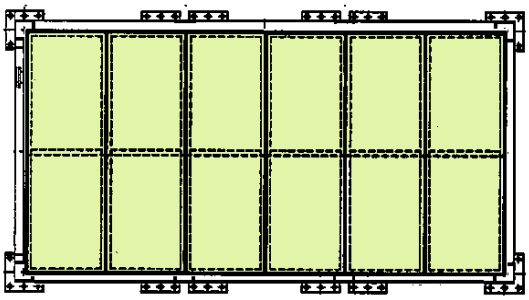
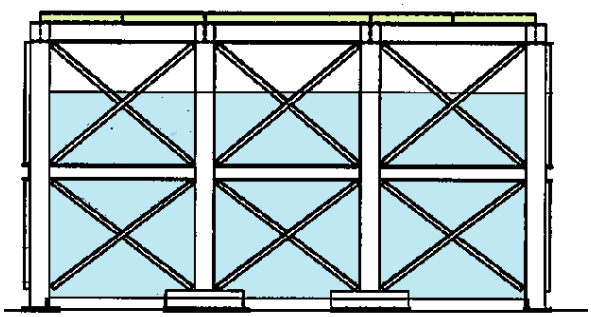
中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の構造計画を表3-1に示す。

(b)　評価方針

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は，「(a)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し，荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設を構成する防護鋼板，架構及び基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを「5.　強度評価方法」に示す応力解析モデル等を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，添付書類「Ⅴ-3-別添2-1-1　防護対策施設の強度計算書」に示す。

表 3-1　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は原子炉建屋付属棟屋上に設置する設計とする。			
中央制御室換気系冷凍機防護対策施設	防護鋼板，架構及び基礎ボルトにより構成する。	原子炉建屋付属棟屋上面に設けたコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	 上面図  側面図 ：中央制御室換気系冷凍機 ：防護鋼板

4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

評価対象施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2　許容限界」に示す。

4.1　荷重及び荷重の組合せ

評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重は，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちⅤ-1-1-2-4-3にて設定しており，それらを「(1)　荷重の種類」に示す。また，評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重の組合せの考え方は，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちⅤ-1-1-2-4-3にて定めており，これらを踏まえて，強度評価において考慮すべき荷重の組合せを設定する。評価対象施設の荷重の組合せを「(2)　荷重の組合せ」に示す。

(1)　荷重の種類

a.　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重は，Ⅴ-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2)a.　荷重の種類」で設定している常時作用している荷重に従って，持続的に生じる荷重である自重とする。

b.　降下火砕物による荷重（F_{v0}）

降下火砕物による荷重は，Ⅴ-1-1-2-4-1の「2.1.2　設計に用いる降下火砕物特性」の降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a.　荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて，湿潤密度1.5 g/cm^{3}の降下火砕物が50 cm堆積した場合の荷重とする。

c.　積雪荷重（F_s）

積雪深は，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「Ⅴ-1-1-2-1-1　発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」（以下「Ⅴ-1-1-2-1-1」という。）の「4.1(4)　自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて，茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）による東海村の垂直積雪量30 cmに平均的な積雪荷重*を与えるための係数0.35を考慮し10.5 cmとする。積雪荷重については，建築基準法施行令第86条第2項により，積雪量1 cmごとに20 N/m^{2}の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

注記　＊：建築物の構造関係技術基準解説書

d.　風荷重（W）

風速は，Ⅴ-1-1-2-1-1 の「4.1(4)　自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる風速を踏まえて，建築基準法施行令に基づく平成 12 年建設省告示第 1454 号に定められた東海村の基準風速である 30 m/s とする。風荷重については，施設の形状により風力係数等が異なるため，施設ごとに設定する。

e.　運転時の状態で作用する荷重（F_p）

運転時の状態で作用する荷重は，配管等に作用する内圧等であり，評価対象施設には作用しないため考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重については，それらの組合せを考慮し，自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 評価対象施設の荷重の組合せ

評価対象施設の荷重の組合せについては，自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

ただし，静的構造物である中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は，運転時の状態で作用する荷重は考慮しない。

なお，常時作用する荷重，積雪荷重及び風荷重については，組み合わせることで降下火砕物による荷重の抗力となる場合には，評価結果が保守的となるよう荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ，評価対象施設の強度評価における荷重の組合せの設定については，施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。荷重の組合せの考え方を表 4-1 に示す。

表 4-1 対象施設ごとの荷重の組合せ

施設分類	強度評価の対象施設	荷重*						
		常時作用する荷重(F_d)			降下火砕物による荷重(F_v)	積雪荷重(F_s)	風荷重(W)	運転時の状態で作用する荷重等(F_p)
		自重	積載荷重	水頭圧				
防護対策施設	中央制御室換気系冷凍機防護対策施設	○	－	－	○	○	○	－

注記 ＊：考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち,「4.1(2)a. 降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算出式を以下に示す。鉛直荷重については，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-2-1 防護対策施設の強度計算書」にて使用するための算出式を用いた荷重の算出も行う。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定　　義
A_1	m^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	－	風力係数
E'	－	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	－	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
F_{v0}	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F_s	N/m^2	積雪荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_s	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	m	全高
H_v	m	降下火砕物の層厚
H_s	cm	組合せ荷重として考慮する積雪深
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	基準風速
W	N	風荷重
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
α	－	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
ρ	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については，湿潤状態の降下火砕物及び積雪を考慮する。

湿潤状態の降下火砕物による荷重は，次式のとおり算出する。

$$F_{v0} = \rho \cdot g \cdot H_v$$

積雪荷重は，次式のとおり算出する。

$$F_s = f_s \cdot H_s$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3　入力条件

ρ (kg/m^3)	g (m/s^2)	H_v (m)	f_s (N/(m^2・cm))	H_s (cm)
1500	9.80665	0.5	20	10.5

上記式より，F_{v0}=7355 N/m^2，F_s=210 N/m^2 である。

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重（以下「降下火砕物等堆積による鉛直荷重」という。）は，次式のとおり算出する。

$$F_v' = F_{v0} + F_s$$

以上より，F_v'=7565 N/m^2 とする。

c. 水平荷重

水平荷重については，風を考慮する。風速を建築基準法施行令の基準風速に基づき 30 m/s に設定し，風荷重については施設の形状により異なるため施設ごとに算出する。

風荷重の算出式は建築基準法施行令第 87 条に基づき，以下のとおりである。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで，

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^{\alpha}$（Hが$Z_b$を超える場合）

$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^{\alpha}$（Hが$Z_b$以下の場合）

4.2　許容限界

許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2　機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

「4.1　荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた，評価対象部位ごとの許容限界を表 4-4 に示す。

対象施設ごとの許容限界の詳細は，各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ，評価項目を選定し定める。

(1)　防護対策施設

a.　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容限界は，Ⅴ-1-1-2-4-3 の「4.　要求機能及び性能目標」で設定している中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の構造強度設計上の性能目標及び「3.2　機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a)　防護鋼板，架構及び基礎ボルト

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設を構成する防護鋼板，架構及び基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，防護鋼板に対しては弾性範囲内である設計降伏点S_y並びに架構及び基礎ボルトに対してはＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態III_AＳの許容応力を許容限界として設定する。

表 4-4　防護対策施設の許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
中央制御室 換気系冷凍機 防護対策施設	$F_d + F_v$	防護鋼板	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	弾性範囲内である設計降伏点S_yとする。
	$F_d + F_v + W$	架構	曲げ 圧縮 引張 せん断 組合せ		ＪＥＡＧ４６０１に準じて許容応力状態$\mathrm{III}_A S$の許容応力以下とする*
		基礎ボルト	引張 せん断 組合せ		

F_d：常時作用する荷重　　W：風荷重

F_v：降下火砕物等堆積による鉛直荷重

注記　＊：表 4-5　ＪＥＡＧ４６０１「その他支持構造物」の許容限界を準用する。

表 4-5　ＪＥＡＧ４６０１「その他支持構造物」の許容限界

許容応力状態	許容限界*（ボルト以外）				許容限界*（ボルト等）	
	一次応力				一次応力	
	圧縮	曲げ	引張	せん断	引張	せん断
$\mathrm{III}_A S$	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

注記　＊：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

5.　強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・ＦＥＭ等を用いた解析法

・定式化された評価式を用いた解析法

風荷重を考慮した，降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち，防護対策施設の強度評価方法を以下に示す。

5.1　防護対策施設

5.1.1　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

(1)　評価条件

中央制御室防護対策施設の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　降下火砕物が堆積する防護鋼板は，等分布荷重が作用する長方形板として機械工学便覧の計算方法を準用して評価を行う。計算モデルを図 5-1 に示す。

b.　架構及び基礎ボルトは，ＦＥＭ解析を用いて構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定し評価を行う。計算モデルを図 5-2 に示す。

c.　計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

d.　降下火砕物等堆積による鉛直荷重については，防護鋼板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1　評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
防護鋼板	曲げ
架構	曲げ，圧縮，引張，せん断，組合せ
基礎ボルト	引張，せん断，組合せ

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
a	mm	防護鋼板の短辺
A	mm^2	架構の断面積
A_2	mm^2	降下火砕物の堆積面積
A_a	mm^2	基礎ボルトの１本当たりの断面積
A_z	mm^2	架構の強軸方向のせん断断面積
A_y	mm^2	架構の弱軸方向のせん断断面積
b	mm	防護鋼板の長辺
F_a	N	架構に作用する最大引抜き力（１箇所当たり）
F_c	N	架構に作用する圧縮力
F_t	N	架構に作用する引張力
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
h	mm	防護鋼板の厚さ
H_s	mm	防護対策施設の全高
M_z	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント
M_y	N・mm	架構に作用する弱軸まわりの曲げモーメント
m	kg	防護鋼板１枚の質量
n	―	架構１箇所当たりの基礎ボルトの本数
P_f	N	自重により架構に作用する軸力でF_t又はF_cのいずれか大きい方
p	N/mm	防護鋼板に作用する等分布荷重
Q_a	N	架構脚部基礎ボルトに作用する最大せん断力
Q_z	N	架構に作用する強軸方向のせん断力
Q_y	N	架構に作用する弱軸方向のせん断力
V_D	m/s	基準風速
Z_z	mm^3	架構の強軸まわりの断面係数
Z_y	mm^3	架構の弱軸まわりの断面係数
β	―	防護鋼板の最大応力の係数（機械工学便覧から算出）
σ	MPa	積雪及び降下火砕物堆積により防護鋼板に生じる曲げ応力
σ_a	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
σ_b	MPa	架構に生じる曲げ応力

表 5-2　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
σ_c	MPa	架構に生じる圧縮応力
σ_f	MPa	架構に生じる組合せ応力
σ_t	MPa	架構に生じる引張応力
τ	MPa	架構に生じるせん断応力
τ_a	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

b.　評価モデル

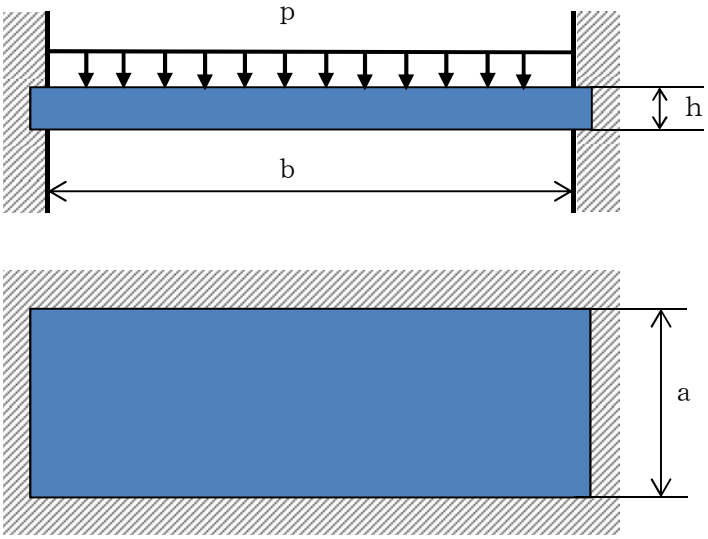


図 5-1　等分布荷重による計算モデル図

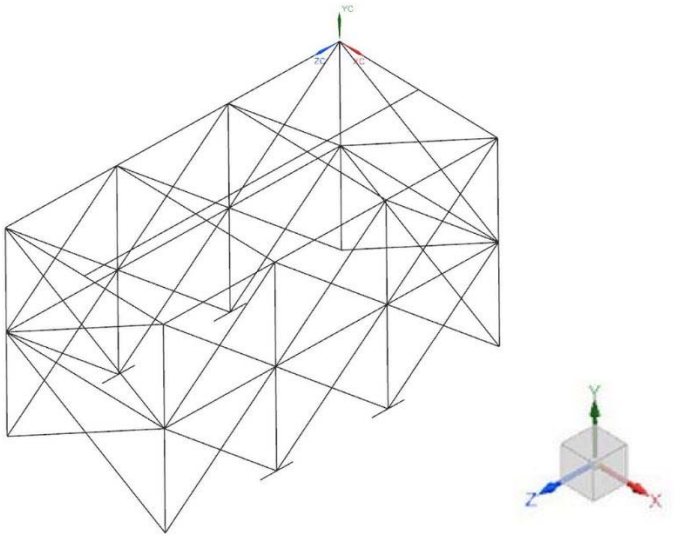


図 5-2　ＦＥＭ解析に用いるモデル図

c. 強度評価方法

(a) 防護鋼板に生じる応力

イ. 曲げ応力

防護鋼板に生じる曲げ応力σは次式より算出される。

$$\sigma = \beta \frac{p \cdot a^2}{h^2}$$

ここで

$$p = F_v' + \frac{m \cdot g}{a \cdot b}$$

(b) 架構に生じる応力

イ. 引張応力

架構に生じる引張応力σ_tは次式より算出される。

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A}$$

ロ. 圧縮応力

架構に生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

ハ. せん断応力

架構に生じるせん断応力τは次式より算出される。

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{Q_z}{A_z}\right)^2 + \left(\frac{Q_y}{A_y}\right)^2}$$

二. 曲げ応力

架構に生じる曲げ応力σ_bは次式より算出される。

$$\sigma_b = \frac{M_z}{Z_z} + \frac{M_y}{Z_y}$$

ホ. 組合せ応力

架構に生じる軸力，曲げモーメント及びせん断力による組合せ応力σ_fは次式より算出される。

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{P_f}{A} + \frac{M_z}{Z_z} + \frac{M_y}{Z_y}\right)^2 + 3 \cdot \left\{\left(\frac{Q_z}{A_z}\right)^2 + \left(\frac{Q_y}{A_y}\right)^2\right\}}$$

ここで，P_fはF_t又はF_cのいずれか大きい方とする。

(c) 基礎ボルト

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力σ_aは次式より算出される。

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_a \cdot n}$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力τ_aは次式より算出される。基礎ボルトは全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

$$\tau_a = \frac{Q_a}{A_a \cdot n}$$

6. 適用規格

Ⅴ-1-1-2-4-1 においては，降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち，評価対象施設の強度評価に用いる規格，基準等を以下に示す。

(1) 建築基準法及び同施行令

(2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）

(3) 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）

(4) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補 - 1984（（社）日本電気協会）

(5) 原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

(6) 原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991追補版（（社）日本電気協会）

(7) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）

(8) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 2015）

(9) 新版機械工学便覧（1987年 日本機械学会編）

Ⅴ-3-別添 2-2-1　防護対策施設の強度計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 1
2.1 位置 1
2.2 構造概要 2
2.3 評価方針 4
2.4 適用規格 5
3. 強度評価方法 6
3.1 記号の定義 6
3.2 評価対象部位 8
3.3 荷重及び荷重の組合せ 9
3.4 許容限界 11
3.5 評価方法 13
4. 評価条件 16
5. 強度評価結果 17

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-2　防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設が降下火砕物等堆積時においても，中央制御室換気系冷凍機の安全機能維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，防護対策施設の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，原子炉建屋付属棟屋上に設置する。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の位置図を図 2-1 に示す。

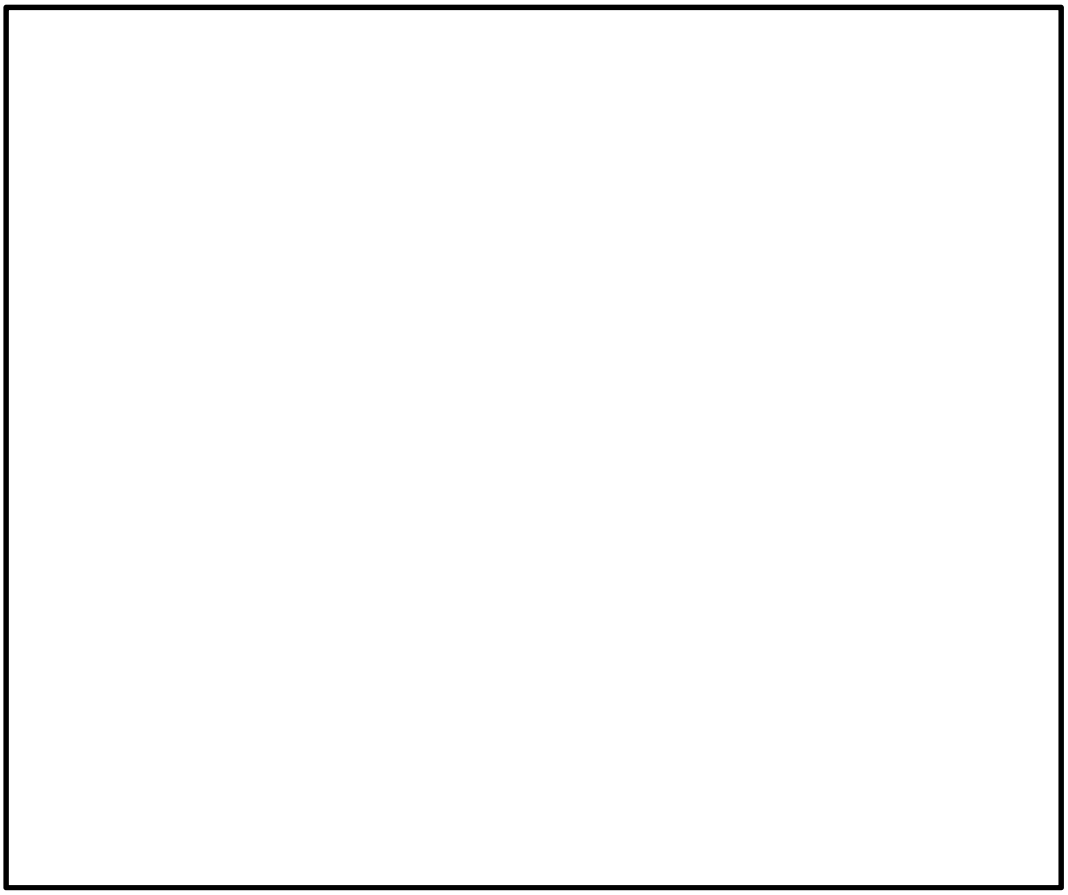


図 2-1　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の位置図

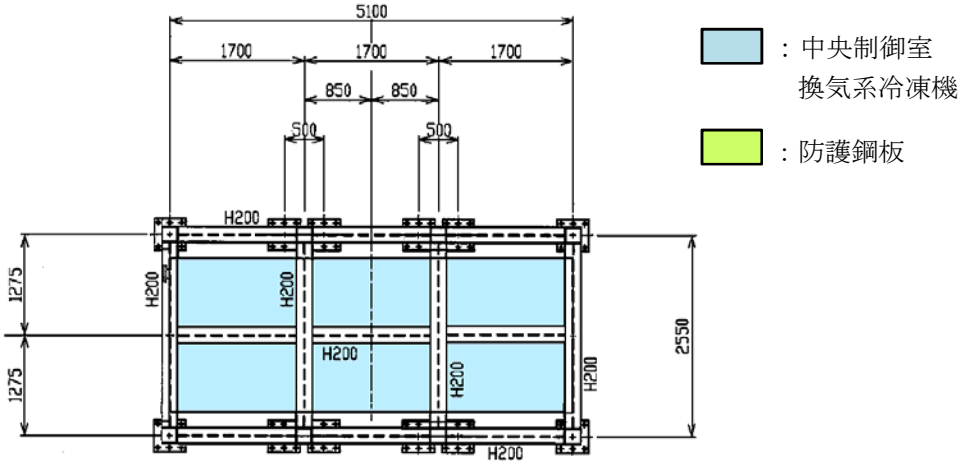
2.2　構造概要

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は，添付書類「V-3-別添 2-2　防護対策施設の強度計算の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

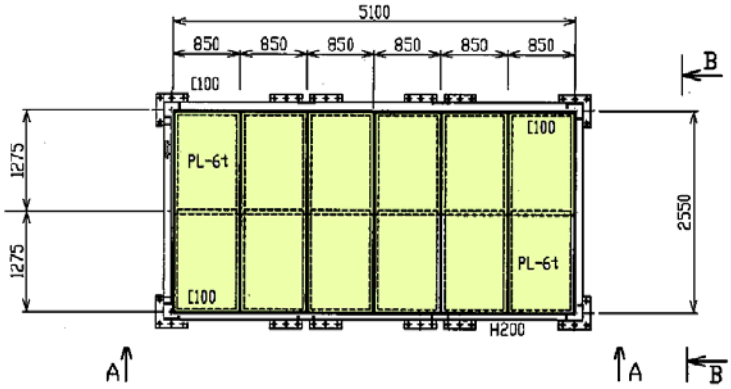
中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は，中央制御室換気系冷凍機へ降下火砕物が堆積することを防止する防護鋼板，防護鋼板を支持する架構及び基礎ボルトから構成される。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部の概要図を図 2-2 に示す。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設が風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図を図 2-3，降下火砕物等が中央制御室換気系冷凍機防護対策施設に最も多く堆積することが想定される状態図を図 2-4 に示す。

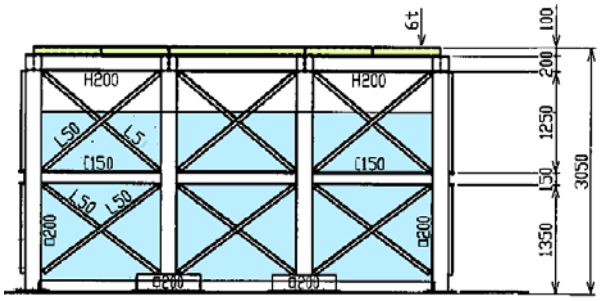


(a)　上面図（架構のみ）

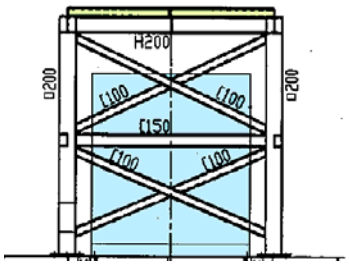


(b)　上面図（防護鋼板含む）

図 2-2　防護対策施設の概要図(1/2)

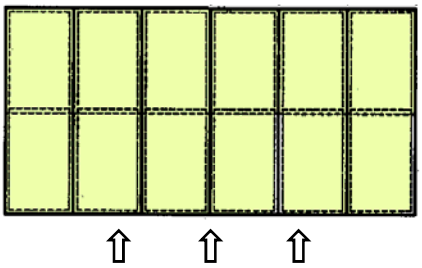


(c)　側面図（Ａ－Ａ矢視）



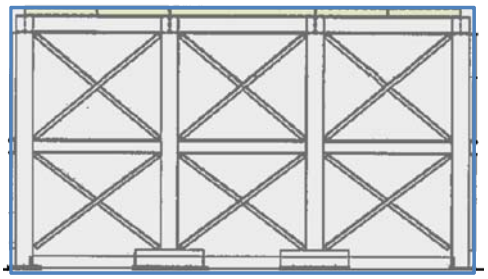
(d)　側面図（Ｂ－Ｂ矢視）

図 2-2　防護対策施設の概要図(2/2)



風（台風）による水平荷重の方向

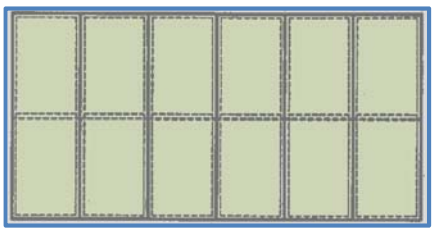
(a)　上面図



：風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面

(b)　側面図

図 2-3　風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図



：降下火砕物等

図 2-4　降下火砕物等の堆積状態図

2.3　評価方針

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の評価対象部位に作用する応力が，許容限界に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価フローを図2-5に示す。中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価においては，その構造を踏まえ，降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については，防護鋼板上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を想定する。また，風（台風）による水平荷重は，架構及び基礎ボルトに対し算出し入力荷重として設定する。それぞれの評価については，添付書類「Ⅴ-3-別添2-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に示す評価式を用いる。なお，架構及び基礎ボルトは，ＦＥＭ解析を用いて構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容限界は，添付書類「Ⅴ-3-別添2-2　防護対策施設の強度計算書の方針」の「4.2　許容限界」に示す許容限界である，設計降伏点又はＪＥＡＣ４６０１の許容応力状態 $\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ とする。

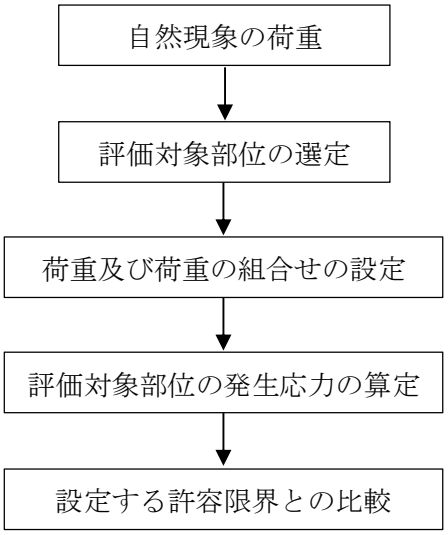


図2-5　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準，指針等を以下に示す。

(1)　建築基準法及び同施行令

(2)　茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）

(3)　建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）

(4)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補 - 1984（（社）日本電気協会）

(5)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

(6)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991追補版（（社）日本電気協会）

(7)　発電用原子力設備規格 設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）

(8)　2015年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所　2015）

(9)　新版機械工学便覧（1987年　日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
a	mm	防護鋼板の短辺
A	mm^2	架構の断面積
A_1	m^2	風の受圧面積（風向きに垂直な面に投影した面積）
A_2	mm^2	降下火砕物の堆積面積
A_a	mm^2	基礎ボルトの 1 本当たりの断面積
A_z	mm^2	架構の強軸方向のせん断断面積
A_y	mm^2	架構の弱軸方向のせん断断面積
b	mm	防護鋼板の長辺
C	－	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
E’	－	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	－	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1(1)により規定される値
F_a	N	架構に作用する最大引抜き力（１箇所当たり）
F_c	N	架構に作用する圧縮力
F_t	N	架構に作用する引張力
f_c	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容圧縮応力
f_s	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容せん断応力
f_t	MPa	ＪＳＭＥ SSB-3121.1 により規定される供用状態Ａ及びＢでの許容引張応力
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
G	－	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	防護鋼板の厚さ
H	mm	防護対策施設の地表面からの高さ
M_z	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント
M_y	N・mm	架構に作用する弱軸まわりの曲げモーメント

表 3-1　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
m	kg	防護鋼板 1 枚の質量
n	―	架構 1 箇所当たりの基礎ボルトの本数
P_f	N	自重により架構に作用する軸力でF_t又はF_cのいずれか大きい方
p	N/mm	防護鋼板に作用する等分布荷重
Q_a	N	架構脚部基礎ボルトに作用する最大せん断力
Q_z	N	架構に作用する強軸方向のせん断力
Q_y	N	架構に作用する弱軸方向のせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
S_y	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
V_D	m/s	基準風速
W	N	風（台風）による水平荷重
Z_G	m	地表面祖度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
Z_z	mm^3	架構の強軸まわりの断面係数
Z_y	mm^3	架構の弱軸まわりの断面係数
β	―	防護鋼板の最大応力の係数（機械工学便覧から算出）
σ	MPa	積雪及び降下火砕物堆積により防護鋼板に生じる曲げ応力
σ_a	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
σ_b	MPa	架構に生じる曲げ応力
σ_c	MPa	架構に生じる圧縮応力
σ_f	MPa	架構に生じる組合せ応力
σ_t	MPa	架構に生じる引張応力
α	―	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
τ	MPa	架構に生じるせん断応力
τ_a	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

3.2　評価対象部位

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の評価対象部位は添付書類「Ⅴ-3-別添 2-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，防護鋼板，架構及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮して設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は，降下火砕物が堆積する防護鋼板を介して架構に作用する。風（台風）による水平荷重については，架構を介して基礎ボルトに作用する。

このことから，降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては防護鋼板及び架構を，風（台風）による水平荷重に対しては架構及び基礎ボルトを評価対象部位とする。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

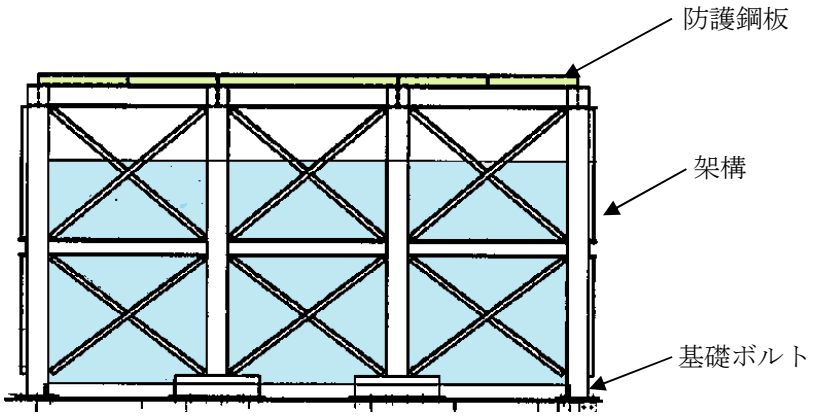


図 3-1　中央制御室換気系冷凍機防護対象施設の評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「V-3-別添 2-2　防護対策施設の強度評価の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

防護対策施設の強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重としては，自重を考慮する。

b.　降下火砕物等堆積による荷重（F_v'）

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は 7565 N/m^2 とする。

c.　風（台風）による水平荷重（W）

風（台風）による水平荷重は，基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重WはV-3-別添 2-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.　水平荷重」に示す式に従い，算出する。Hが 5m以上であるため，HZ_b 超える場合の式を用いる。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図 3-2 に示す。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^{\alpha}$$

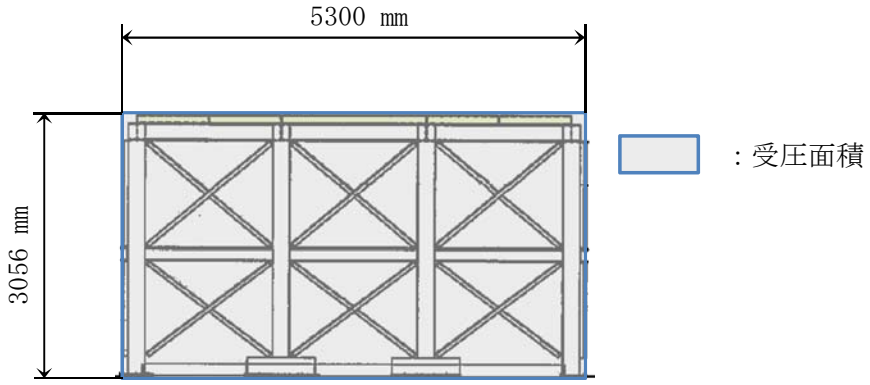


図 3-2　風（台風）による水平荷重の受圧面積

(2)　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の評価対象部位ごとに設定する。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の防護鋼板には，自重及び降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する。また，架構及び基礎ボルトには，自重，降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重が作用する。なお，防護鋼板に対し，風（台風）による水平荷重が作用すると鉛直上向きの荷重が働き，鉛直した下向きの荷重が低減されるため，保守的に風（台風）による水平荷重は考慮しない。

中央制御施設換気系冷凍機防護対策施設の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2　荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
中央制御室換気系 冷凍機防護対策施設	防護鋼板	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	架構	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重
	基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重

3.4　許容限界

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2　評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，設計降伏点又はＪＥＡＧ４６０１に基づき許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$の許容応力を用いる。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容限界は，防護鋼板に対しては弾性範囲である設計降伏点とし，架構及び基礎ボルトに対してはＪＥＡＧ４６０１を準用し，「その他支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して，当該施設に要求される機能を維持できるように弾性設計とするため，許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$から算出した以下の許容応力を許容限界とする。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5，6 の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5，6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容限界を表 3-3，許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
防護鋼板	－	一次応力	曲げ	S_y
架構	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	一次応力	曲げ	$1.5f_t$
			圧縮	$1.5f_c$
			引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	$1.5f_t$
基礎ボルト	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	一次応力	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	$\mathrm{Min}\{1.5f_t,\ (2.1f_t-1.6\tau)\}$

表 3-4　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容応力

評価対象部位	材料	環境条件(℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5f_c$ (MPa)	$1.5f_t$ (MPa)	$1.5f_s$ (MPa)
防護鋼板	SS400	50*1	241	－	－	－	－	－
架構	STKR400	50*1	241	394	241	＊2	241	139
	SS400		241	394	241	＊2	241	139
基礎ボルト	SS400	50*1	231	394	231	－	173	133

注記　＊1：周囲環境温度

＊2：部材長さに応じて算出

3.5　評価方法

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の応力評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 2-2　防護対策施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(1)　評価モデル

a.　等分布荷重による評価

等分布荷重による評価を行う防護鋼板は，長方形板（四辺固定）モデルとする。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図 3-3 に示す。

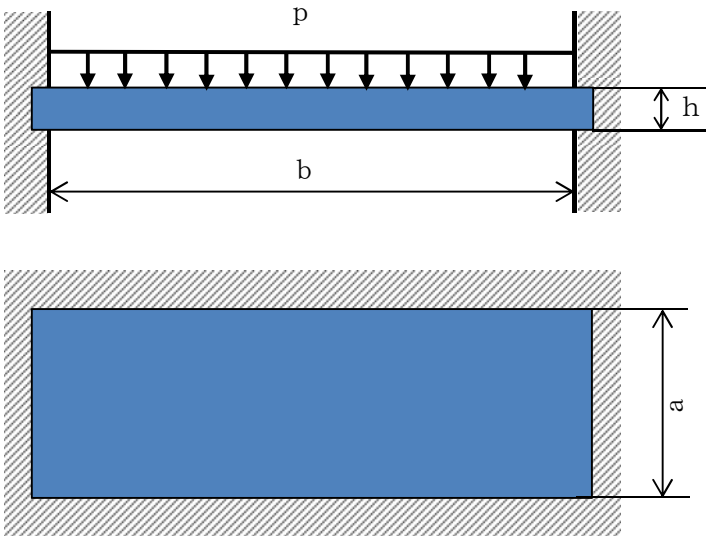


図 3-3　等分布荷重による評価に用いるモデル図

b.　ＦＥＭ解析による評価

架構及び基礎ボルトは，ＦＥＭ解析を用いて構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。ＦＥＭ解析に用いるモデル図を図 3-4 に示す。ＦＥＭ解析に使用するコードは「ＡＢＡＱＵＳ」である。なお，解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-5　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＡＢＡＱＵＳ」に示す。

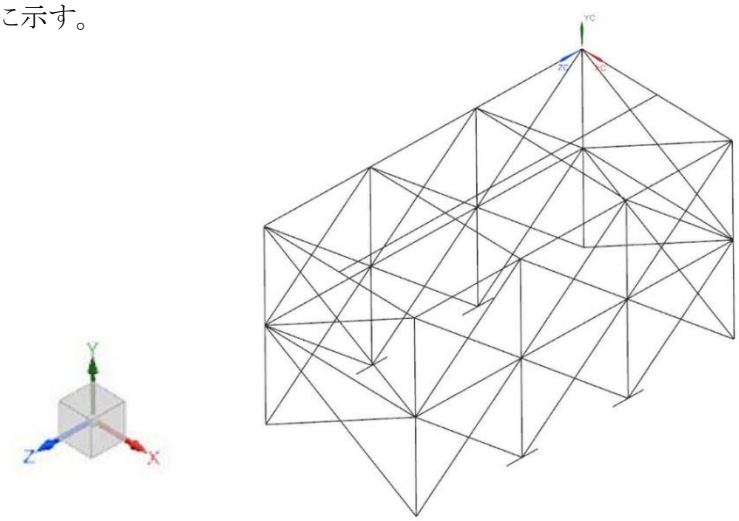


図 3-4　ＦＥＭ解析に用いるモデル図

(2)　評価方法

a.　鉛直方向荷重

(a)　降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$F_v = F_v' \cdot A_2$

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の受圧面積を図 3-5 に示す。

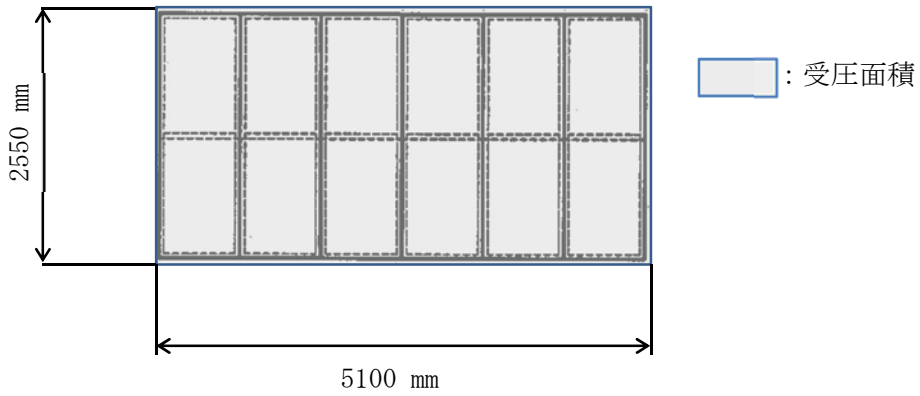


図 3-5　降下火砕物の堆積面積図

b．　応力評価

(a)　防護鋼板に生じる応力

イ．　曲げ応力

防護鋼板に生じる曲げ応力σは次式より算出される。

$$\sigma = \beta \frac{p \cdot a^2}{h^2}$$

ここで

$$p = F_v' + \frac{m \cdot g}{a \cdot b}$$

(b)　架構に生じる応力

イ．　引張応力

架構に生じる引張応力σ_tは次式より算出される。

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A}$$

ロ．　圧縮応力

架構に生じる圧縮応力σ_cは次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

ハ．　せん断応力

架構に生じるせん断応力τは次式より算出される。

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{Q_z}{A_z}\right)^2 + \left(\frac{Q_y}{A_y}\right)^2}$$

二．　曲げ応力

架構に生じる曲げ応力σ_bは次式より算出される。

$$\sigma_b = \frac{M_z}{Z_z} + \frac{M_y}{Z_y}$$

ホ．　組合せ応力

架構に生じる軸力，曲げモーメント及びせん断力による組合せ応力σ_fは次式より算出される。

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{P_f}{A} + \frac{M_z}{Z_z} + \frac{M_y}{Z_y}\right)^2 + 3\cdot\left\{\left(\frac{Q_z}{A_z}\right)^2 + \left(\frac{Q_y}{A_y}\right)^2\right\}}$$

ここで，P_fはF_t又はF_cのいずれか大きい方とする。

(c)　基礎ボルト

イ．　引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力σ_aは次式より算出される。

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_a \cdot n}$$

ロ．　せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力τ_aは次式より算出される。基礎ボルトは全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

$$\tau_a = \frac{Q_a}{A_a \cdot n}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 評価条件

q (N/m^2)	C (－)	G (－)	V_D (m/s)	H (m)	Z_G (m)
1507	1.2	2.1	30	26.26	350

F_v' (N/m^2)	α (－)	g (m/s^2)	A_1 (m^2)	A_2 (m^2)
7565	0.15	9.80665	16.20	13.01

表 4-2 評価条件（防護鋼板）

β (－)	p (N/mm^2)	a (mm)	b (mm)	h (mm)	m (kg)
0.45	8.027×10^{-3}	850	1275	6	51

表 4-3 評価条件（架構）

部材	材料	A (mm^2)	Z_z (mm^3)	Z_y (mm^3)	A_z (mm^2)	A_y (mm^2)
□－200×200×9	STKR400	6667	3.99×10^5	3.99×10^5	3061	3061
H－200×200×8×12	SS400	6353	4.72×10^5	1.60×10^5	3207	1438
［－150×75×6.5×10	SS400	2371	1.15×10^5	2.24×10^4	1079	839.4
［－100×50×5×7.5	SS400	1192	3.76×10^4	7.52×10^3	536.4	426.4
L－50×50×6	SS400	564.4	3.55×10^3	3.55×10^3	210.7	210.7

表 4-4 評価条件（基礎ボルト）

ボルト サイズ	n (－)	A_a (mm^2)
M24	6	452.4

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1，最大応力発生箇所を図 5-1 及び図 5-2 に示す。

防護鋼板，架構及び基礎ボルトに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1　中央制御室換気系冷凍機防護対策施設評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生箇所
防護鋼板	SS400	曲げ	73	241	―
架構*1	SS400	曲げ	21	241	要素 No. 86
		圧縮	1	225	
		引張*2	―	―	
		せん断	7	139	
		組合せ	25	241	
基礎ボルト*1	SS400	引張	11	173	節点 No. 536
		せん断	1	133	
		組合せ	11	173	

注記　＊1：架構及び基礎ボルトの発生応力は，組合せ応力の最大発生箇所の応力を示す。

＊2：圧縮応力が発生し引張応力は発生しない。

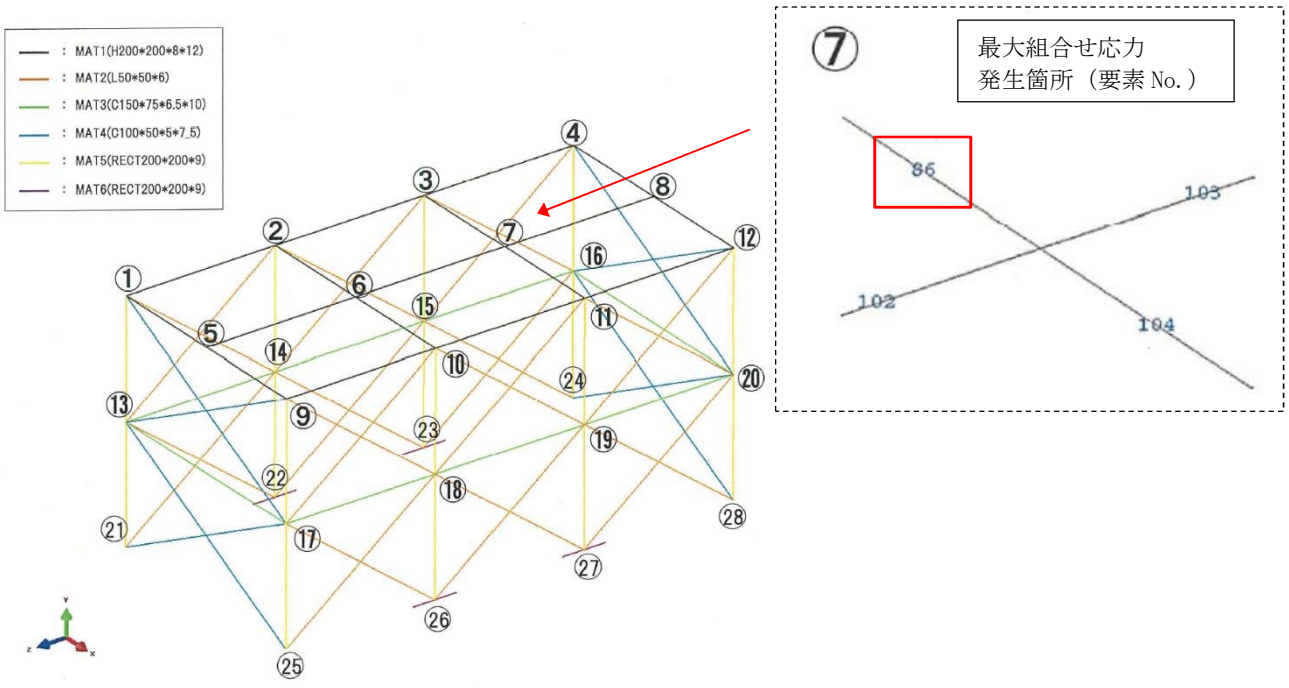


図 5-1　架構の最大応力発生箇所

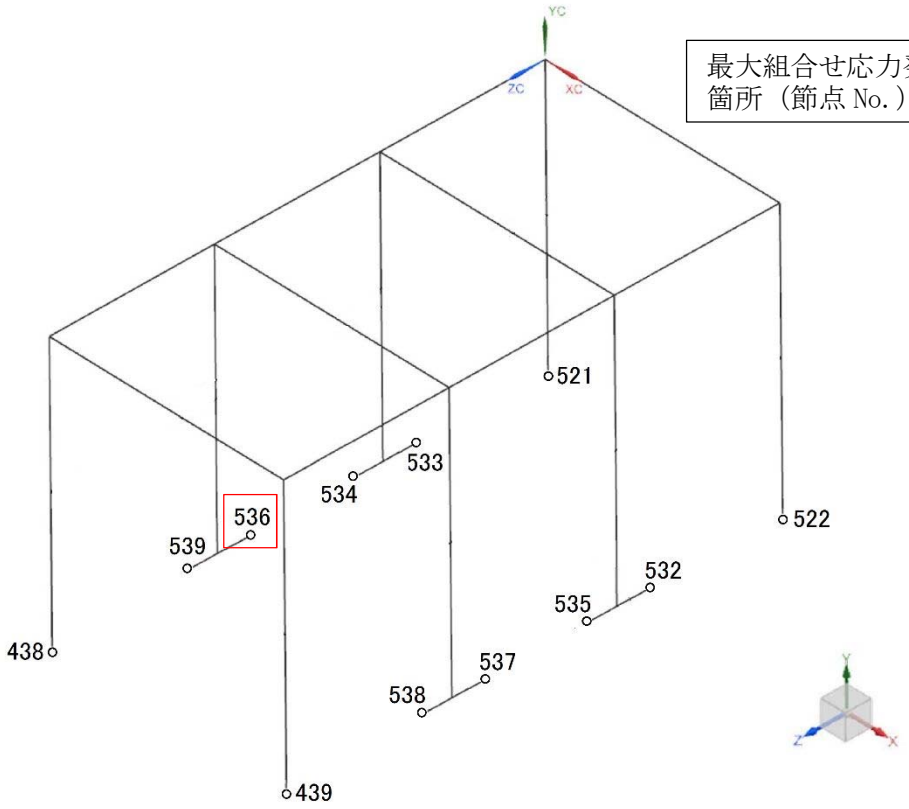


図 5-2　基礎ボルトの最大応力発生箇所（ブレース等非表示モデル図）

Ⅴ-3-別添 3-1　津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目次

1. 概要 1
2. 強度評価の基本方針 2
2.1 評価対象施設 2
2.2 評価方針 8
3. 構造強度設計 9
3.1 構造強度の設計方針 9
3.2 機能維持の方針 16
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界 94
4.1 荷重及び荷重の組合せ 94
4.2 許容限界 102
5. 強度評価方法 152
5.1 土木構造物に関する評価式 152
5.2 機器・配管系に関する評価式 156
6. 適用規格 169

1. 概要

本添付書類は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第 6 条及び第 51 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象による損傷の防止に関する説明書」のうち添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」に基づき設計する津波防護に関する浸水防護設備である津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備が，津波に対して構造健全性を有することを確認するための強度計算方針について説明するものである。

強度計算は，添付書類「Ⅴ-1-1-2　発電用原子炉施設の自然現象による損傷の防止に関する説明書」のうち添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-1　耐津波設計の基本方針」に示す適用規格を用いて実施する。

各施設の具体的な計算の方法及び結果は，添付書類「Ⅴ-3-別紙 3-2　津波への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

2.　強度評価の基本方針

強度計算は，「2.1　評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として，「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で示す津波による荷重と組合すべき他の荷重による組合せ荷重又は応力などが許容限界内にあることを「5.　強度評価方法」に示す評価方法を使用し，「6.　適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

2.1　評価対象施設

強度評価の対象施設とする浸水防護施設を表 2.1－1 に示す。また，強度評価の対象施設とする津波防護施設の配置を図 2.1－1 に示す。

表 2.1－1　強度計算の対象施設

設備名称		施設分類
防潮堤	防潮堤（鋼製防護壁）	津波防護施設
	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）	
	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））	
	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	
防潮扉		
放水路ゲート		
構内排水路逆流防止設備		
貯留堰		
取水路点検用開口部浸水防止蓋		浸水防止設備
海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁		
取水ピット空気抜き配管逆止弁		
海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋		
ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋		
緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋		
緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋		
緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋		
緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁		
緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁		
放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋		
格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ		
常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ		
常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ		
常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉		
原子炉建屋原子炉棟水密扉		
原子炉建屋付属棟東側水密扉		
原子炉建屋付属棟西側水密扉		
原子炉建屋付属棟南側水密扉		
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1		
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2		
防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置		
海水ポンプ室貫通部止水処置		
原子炉建屋境界貫通部止水処置		
常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置		
取水ピット水位計		津波監視設備
潮位計		

【凡例】

T.P.＋3.0m～T.P.＋8.0m

T.P.＋8.0m～T.P.＋11.0m

T.P.＋11.0m 以上

津波防護施設

浸水防止設備

津波監視設備

設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画

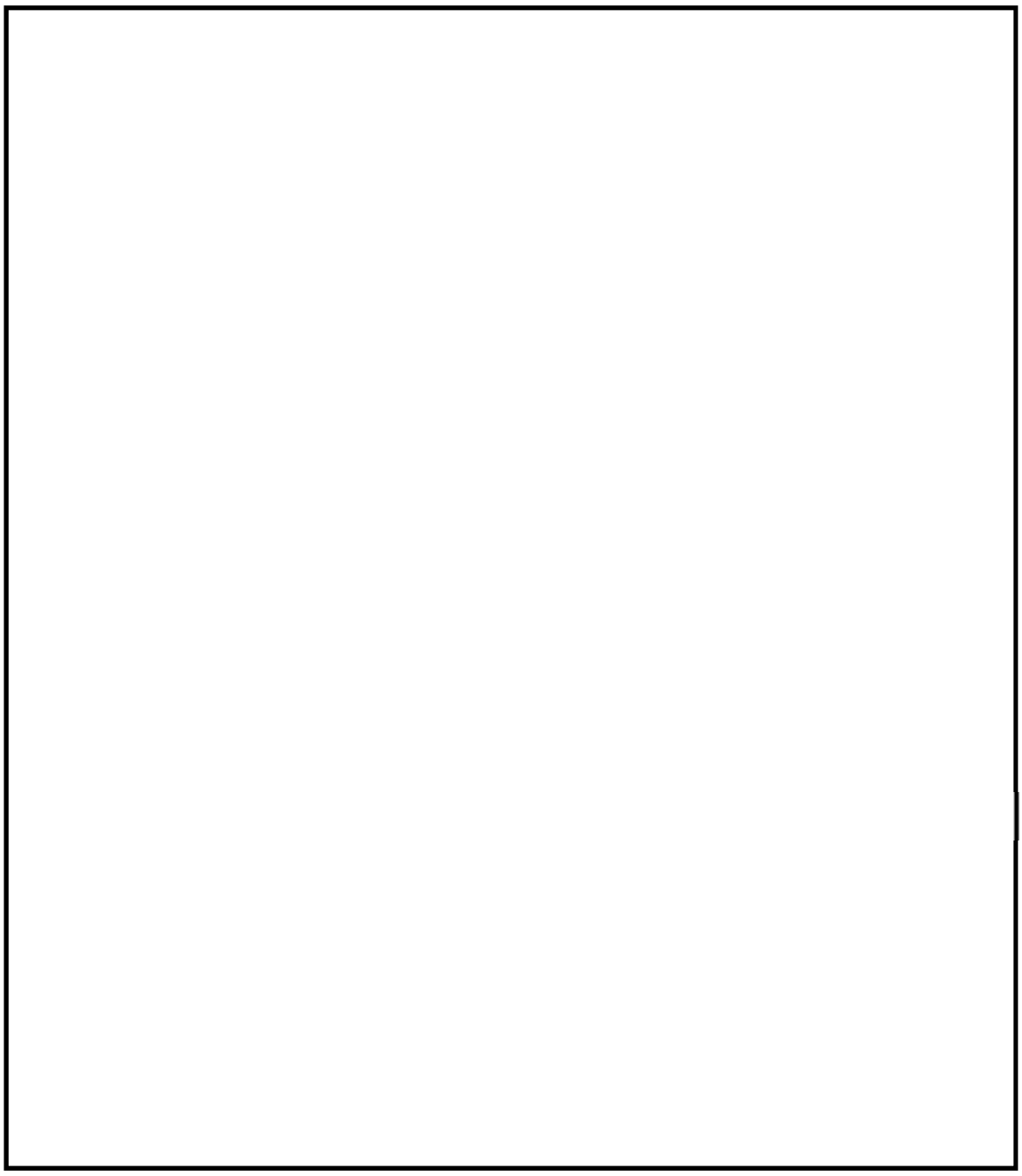


図 2.1－1　強度評価の対象施設の配置（1／4）

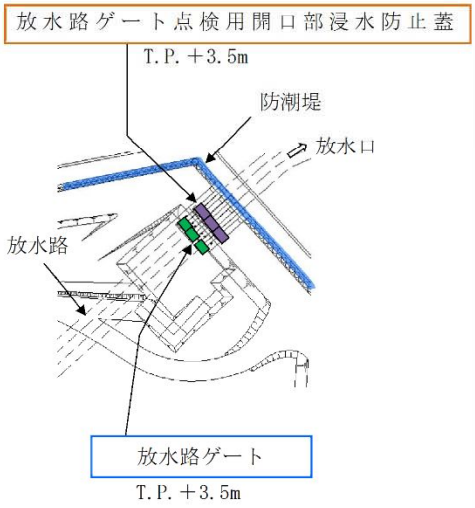
【凡例】

津波防護施設

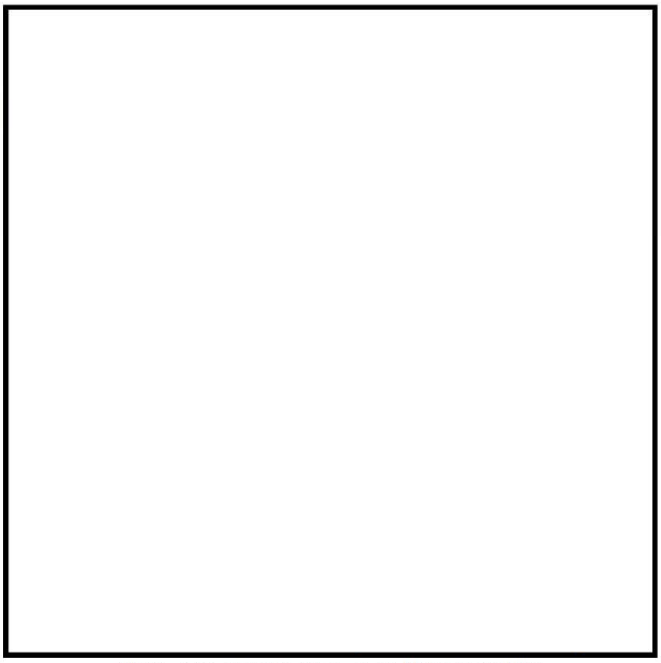
浸水防止設備

津波監視設備

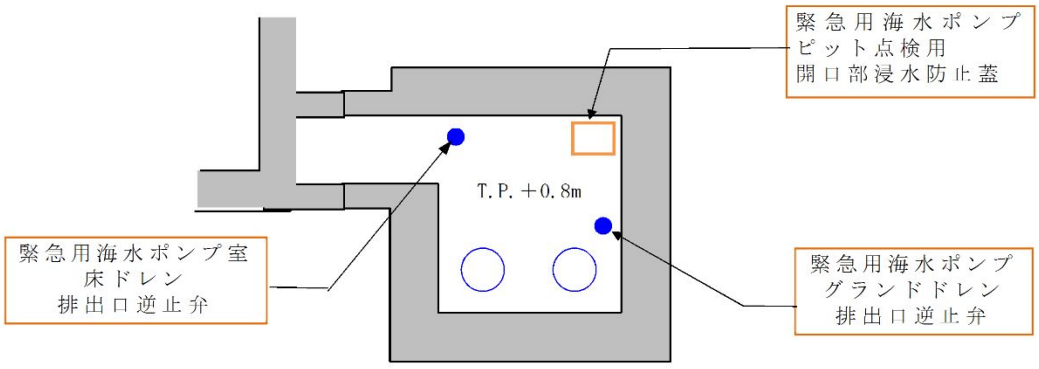
設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画



図❶（放水口周辺拡大図）



図❷（海水ポンプエリア周辺拡大図）



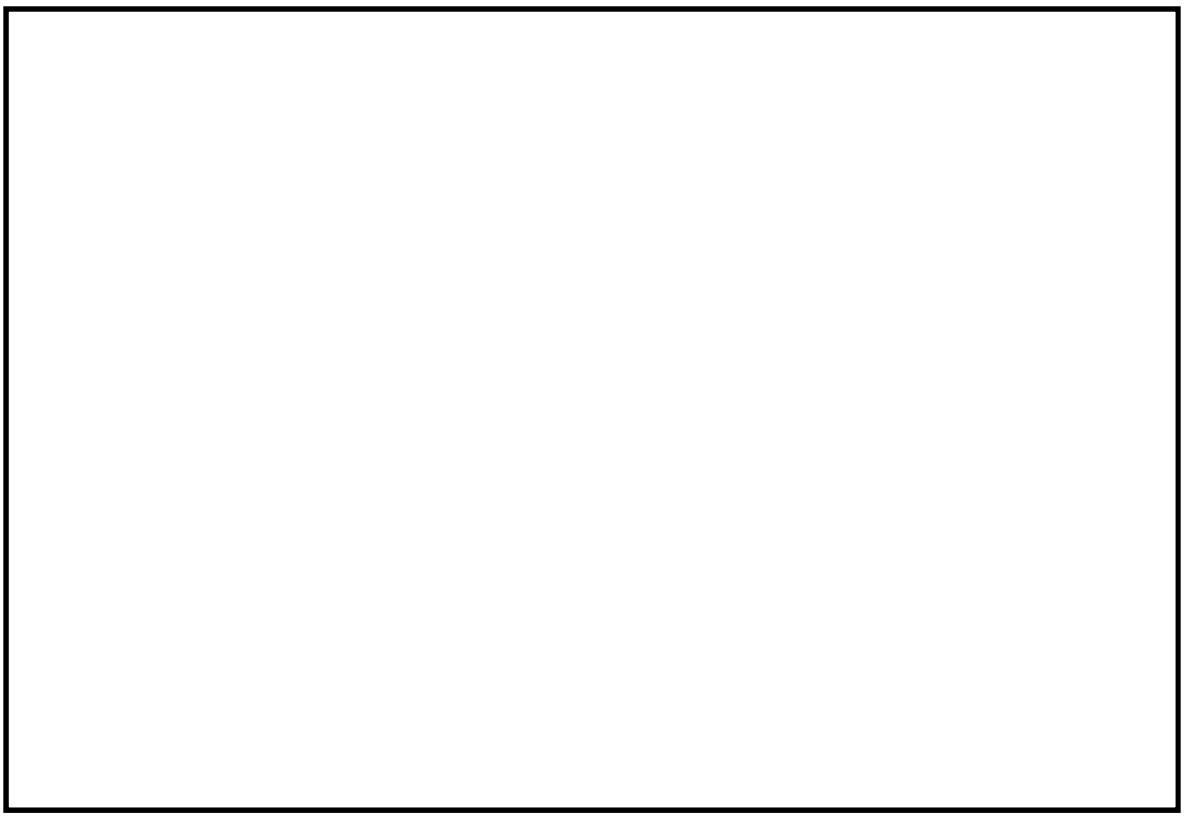
図❸（緊急用海水ポンプエリア周辺拡大図）

図 2.1－1　強度評価の対象施設の配置（2／4）

【凡例】

浸水防止設備

設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画

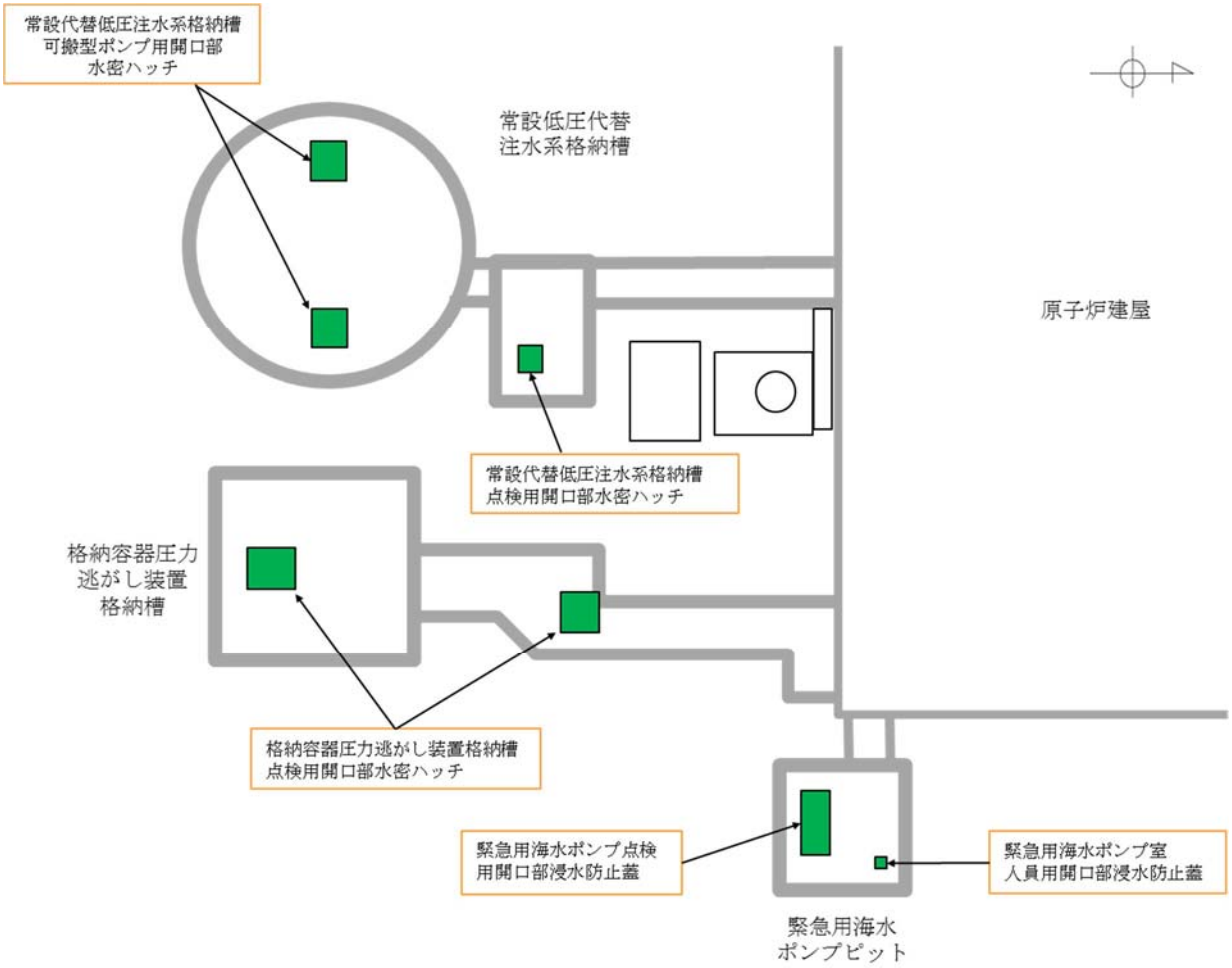


❹（常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部及びカルバート部）拡大図）

図 2.1－1　強度評価の対象施設の配置（3／4）

【凡例】

浸水防止設備



❺（常設低圧代替注水系格納槽及び格納容器圧力逃がし装置格納槽拡大図）

図 2.1－1　強度評価の対象施設の配置（4／4）

2.2　評価方針

浸水防護施設は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため，「2.1　評価対象施設」で分類した施設ごとに，浸水防護に関する強度評価を実施する。

3.　構造強度設計

「2.1　評価対象施設」で設定している施設が，構造強度設計上の性能目標を達成するよう，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「4.　機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて，構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し，想定する荷重及び荷重の組合せを設定し，それらの荷重に対し，各施設の構造強度を保持するよう構造設計と評価方針を設定する。

3.1　構造強度の設計方針

添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を，「2.1　評価対象施設」ごとに示す。

3.1.1　津波防護施設

(1)　防潮堤

防潮堤の構造形式としては，地中連続壁に鋼製の上部工を設置する鋼製防護壁，地中連続壁に鉄筋コンクリート製の上部工を設置する鉄筋コンクリート防潮壁及び基礎となる鋼管杭の上部工部分に鉄筋コンクリートを被覆した鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の3種類からなる。

防潮堤はそれぞれの構造形式ごとに，以下に示すとおり，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1　津波防護施設　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえた設計とする。

a.　防潮堤（鋼製防護壁）

鋼製防護壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した敷地への遡上に伴う津波（以下「遡上波」という。）及び取水路，放水路等の経路からの流入に伴う津波（以下「経路からの津波」という。）の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼製防護壁部については鋼材で，地中連続壁基礎部については鉄筋コンクリートで構成し，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし，十分な支持性能を有する岩盤に設置する設計とするとともに，鋼製防護壁と取水構造物の境界部には1次止水機構及び2次止水機構を設置し，その他の主要な構造体の境界部には止水ジョイント部材を設置し，有意な漏えいを生じない設計とする。

また，敷地に遡上する津波が防潮堤を超えるときの遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対しても，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

b.　防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）

鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鉄筋コンクリート防潮壁部及び地中連続壁基礎部については鉄筋コンクリートで構成し，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし，十分な支持性能を有する岩盤に設置する設計とするとともに，主要な構造体の境界部には，止水ジョイント部材を設置し，有意な漏えいを生じない設計とする。

NT2 補② Ⅴ-3-別添 3-1 R4

また，敷地に遡上する津波が防潮堤を超えるときの遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対しても，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

c. 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，津波後の再使用性を考慮し，鉄筋コンクリートで構成される主要な部材の構造健全性を保持する設計とし，十分な支持性能を有する岩盤に設置する設計とするとともに，主要な構造体の境界部には止水ジョイント部材を設置し，有意な漏えいを生じない設計とする。

また，敷地に遡上する津波が防潮堤を超えるときの遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対しても，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

d. 防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼製の杭，鉄筋コンクリート製の上部構造，地盤高さの嵩上げ（改良体），表層改良体で構成し，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし，主要な構造体の境界部や防潮壁前面の地盤には，止水ジョイント部材や表層改良体を設置し，有意な漏えいを生じない設計とする。

また，敷地に遡上する津波が防潮堤を超えるときの遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対しても，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

(2) 防潮扉

防潮扉は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.1　津波防護施設　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，扉体は戸当りを介してコンクリート躯体部に固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

また，敷地に遡上する津波が防潮堤を超えるときの遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対しても，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

(3) 放水路ゲート

放水路ゲートは，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.1　津波防護施設　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，扉体は戸当りを介してコンクリート躯体部となる防潮堤（鉄筋コ

ンクリート防潮壁（放水路エリア））に固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(4)　構内排水路逆流防止設備

構内排水路逆流防止設備は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.1　津波防護施設　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鉄筋コンクリート製の集水枡に基礎ボルトで固定する鋼製の扉体とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(5)　貯留堰

貯留堰は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1 津波防護施設　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，貯留堰本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手，護岸接続部は止水ゴム，防護材及びこれらを取り付けるための鋼材で構成し，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持すること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留める設計とする。

3.1.2　浸水防止設備

(1)　取水路点検用開口部浸水防止蓋

取水路点検用開口部浸水防止蓋は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，取水構造物に基礎ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(2)　海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，取水構造物に基礎ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(3)　取水ピット空気抜き配管逆止弁

取水ピット空気抜き配管逆止弁は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，取水ピット空気抜き配管にボルトで固定する

構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(4)　海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，取水構造物にボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(5)　ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋

ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，ＳＡ用海水ピットに基礎ボルト及びヒンジで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(6)　緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，緊急用海水ポンプピットに固定ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(7)　緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，緊急用海水ポンプピットに固定ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(8)　緊急油海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，緊急用海水ポンプピットに固定ボルトで固

定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(9)　緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，緊急用海水ポンプピットに基礎ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(10) 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，緊急用海水ポンプピットに基礎ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(11) 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）に基礎ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(12) 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチは，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，格納容器圧力逃がし装置格納槽に固定ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(13) 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチは，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及

び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，常設低圧代替注水系格納槽に固定ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(14) 常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ

常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチは，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，常設低圧代替注水系格納槽に固定ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(15) 常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，常設代替電源装置用カルバートに基礎ボルト等で固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(16) 原子炉建屋原子炉棟水密扉

原子炉建屋原子炉棟水密扉は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，原子炉建屋に基礎ボルト等で固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(17) 原子炉建屋付属棟東側水密扉

原子炉建屋付属棟東側水密扉は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，原子炉建屋に基礎ボルト等で固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(18) 原子炉建屋付属棟西側水密扉

原子炉建屋付属棟西側水密扉は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，原子炉建屋に基礎ボルト等で固定する構造とし，津波後の

再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(19) 原子炉建屋付属棟南側水密扉

原子炉建屋付属棟南側水密扉は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，原子炉建屋に基礎ボルト等で固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(20) 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，原子炉建屋に基礎ボルト等で固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(21) 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，原子炉建屋に基礎ボルト等で固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(22) 防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置

防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と槓子物の隙間をモルタル又はシール材により塞ぐ構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(23) 海水ポンプ室貫通部止水処置

海水ポンプ室貫通部止水処置は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と槓子物の隙間をモルタル，シール材又はブーツにより塞ぐ構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(24) 原子炉建屋境界貫通部止水処置

原子炉建屋境界貫通部止水処置は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の

設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と槓子物の隙間をモルタル，シール材又はブーツにより塞ぐ構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(25) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置

常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）界貫通部止水処置は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.2　浸水防止設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と槓子物の隙間をモルタルにより塞ぐ構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

3.1.3　津波監視設備

(1)　取水ピット水位計

取水ピット水位計は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.3　津波監視設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，取水構造物に設置された取付座に取付ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(2)　潮位計

潮位計は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求事項及び性能目標」の「3.3　津波監視設備　(3)　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼材で構成し，支持構造物を介して取水構造物に取付ボルトで固定する構造とし，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

3.2　機能維持の方針

添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために，「3.1　構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-1　耐津波設計の基本方針」の「2.1.4　津波防護対策に必要な浸水防護の設計方針　(2)　荷重の組合せ及び許容限界　b.　荷重の組合せ」及び「2.1.4　津波防護対策に必要な浸水防護の設計方針　(2)　荷重の組合せ及び許容限界　c.　許容限界」で設定している荷重を適切に考慮して，各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

3.2.1　防潮堤

(1)　構造設計

防潮堤は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-1　耐津波設計の基本方針」の「2.1.4　津波防護対策に必要な浸水防護の設計方針(2)　荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ，以下の構造とする。

防潮堤の構造計画を表3.2－1～表3.2－4に示す。

a.　鋼製防護壁

鋼製防護壁は，鋼製防護壁（上部工）と地中連続壁基礎（下部工）から構成され，上部工と下部工を鋼製防護壁アンカーにより接合する。

鋼製防護壁は上部工と下部工を一体とした構造とし，地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。

鋼製防護壁と取水構造物との境界には，止水性を確保するための1次止水機構及び2次止水機構を設置する。

隣接する構造物との境界には，止水性を確保するための止水ジョイント部材を設置する。

b.　鉄筋コンクリート防潮壁

鉄筋コンクリート防潮壁は，鉄筋コンクリート防潮壁（上部工）と地中連続壁基礎（下部工）から構成される。

鉄筋コンクリート防潮壁は上部工と下部工を一体とした構造とし，地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。

隣接する構造物との境界には，止水性を確保するための止水ジョイント部材を設置する。

c.　鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，地中連続壁基礎による下部工，防潮壁及び放水路による上部工から構成される。地中連続壁，防潮壁及び放水路はすべて鉄筋コンクリートで一体化した構造とし，地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。防潮壁直下に構築する放水路はカルバート構造であり，敷地内への津波の浸水を防止するためのゲートを設置する。

隣接する構造物との境界には，止水性を確保するための止水ジョイント部材を設置する。

d.　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，鋼管杭による下部工と，５本の鋼管杭を束ね止水機能を確保する鉄筋コンクリートの壁による上部工から構成される。

下部工は鋼管杭，上部工は鉄筋コンクリート梁壁及び鋼管鉄筋コンクリート（ＳＲＣ構造）の一体構造で構築される。大口径で肉厚の厚い鋼管杭を地震及び津波荷重に耐える構造躯体とし，杭間からの津波の浸水を防止する観点で，鋼管杭に鉄筋コンクリートを被覆する上部構造とした。

隣接する構造物との境界には，止水性を確保するための止水ジョイント部材を設置する。

防潮壁の堤内側には，耐津波に対する受働抵抗を目的とした改良体による地盤高さの嵩上げを行うとともに，洗掘防止対策やボイリング対策として，堤内及び堤外の表層部の地盤改良を実施する。

(2) 評価方針

防潮堤は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

a. 鋼製防護壁

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，構造部材である鋼製防護壁，地中連続壁基礎及び鋼製防護壁アンカーが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する。また，基礎地盤については，鋼製防護壁を支持する基礎地盤に作用する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置する 1 次止水機構，2 次止水機構，ゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。

b. 鉄筋コンクリート防潮壁

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，構造部材である鉄筋コンクリート防潮壁及び地中連続壁基礎が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する。また，基礎地盤については，鉄筋コンクリート防潮壁を支持する基礎地盤に作用する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。

c. 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，構造部材である鉄筋コンクリート部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，防潮壁を支持す

る基礎地盤に発生する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない設計とするため，境界部に設置する止水ジョイント部材が有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

d. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，構造部材である鋼管杭，鉄筋コンクリート，鋼製アンカー及び鋼製防護部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，地盤として滑動しない抵抗性を保持する設計とするため，地盤高さの嵩上げ部底面が滑動しないこと及び受働崩壊角にすべりが発生しないことを確認する。また，洗掘防止対策やボイリング対策としての機能を保持するため，表層改良体にせん断破壊が生じないことを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，ボイリング対策としての機能を保持するため，シートパイルにせん断破壊が生じないことを確認する。

表 3.2－1　防潮堤（鋼製防護壁）の構造計画

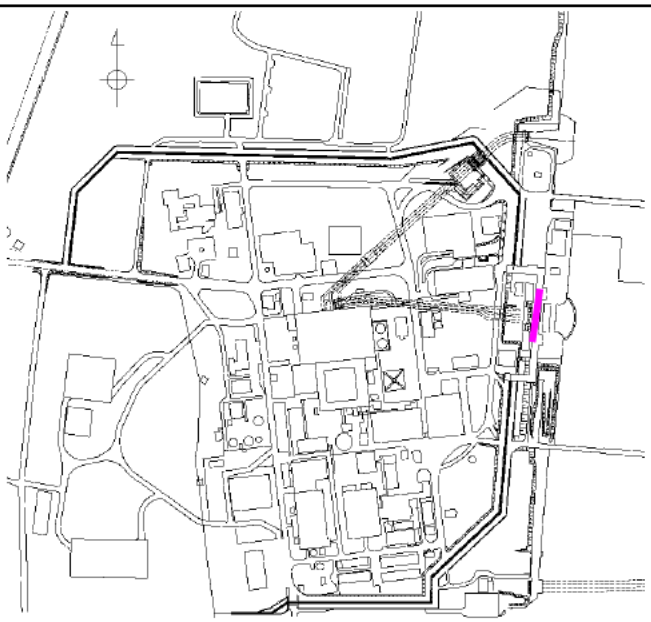
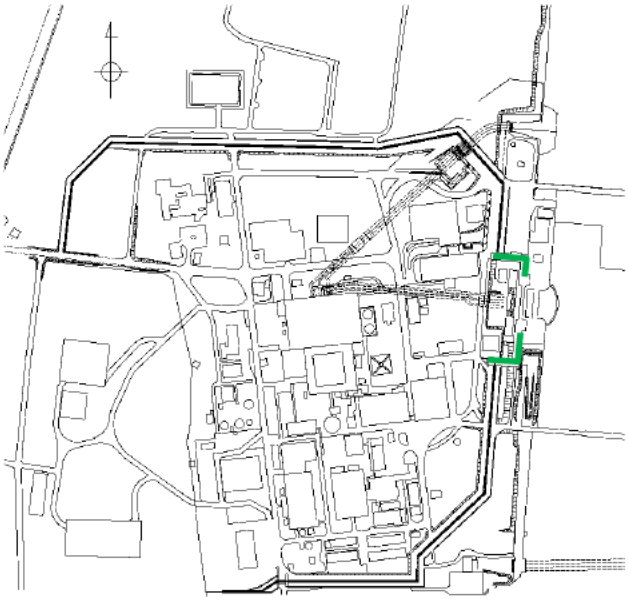
<table>
<tr><td>設備名称</td><td colspan="3">配置図</td></tr>
<tr><td>防潮堤</td><td colspan="3">  </td></tr>
<tr><td rowspan="2">設備名称</td><td colspan="2">計画の概要</td><td rowspan="2">説明図</td></tr>
<tr><td>主体構造</td><td>支持構造</td></tr>
<tr><td>鋼製防護壁</td><td>鋼製防護壁，地中連続壁基礎及び鋼製防護壁アンカーから構成する。</td><td>十分な支持性能を有する岩盤に設置する。</td><td>正面図，断面図</td></tr>
</table>

表 3.2－2　防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の構造計画

設備名称	配置図
防潮堤	

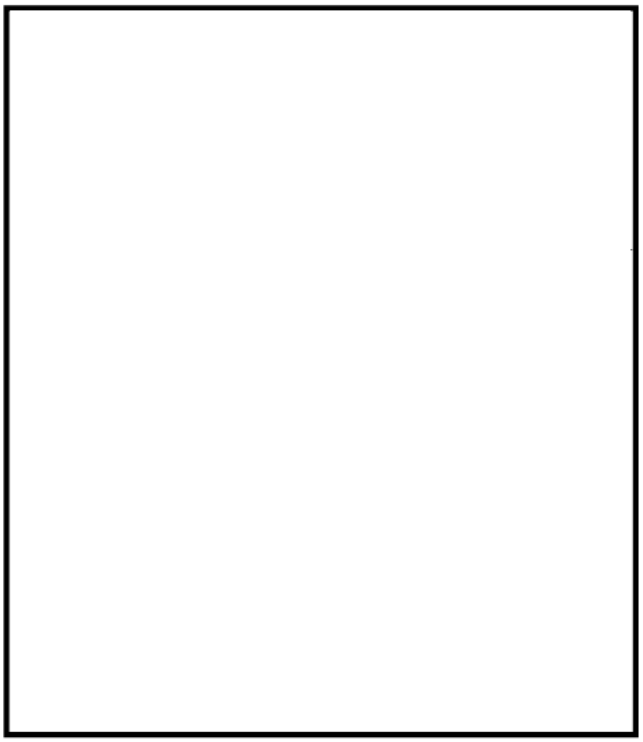
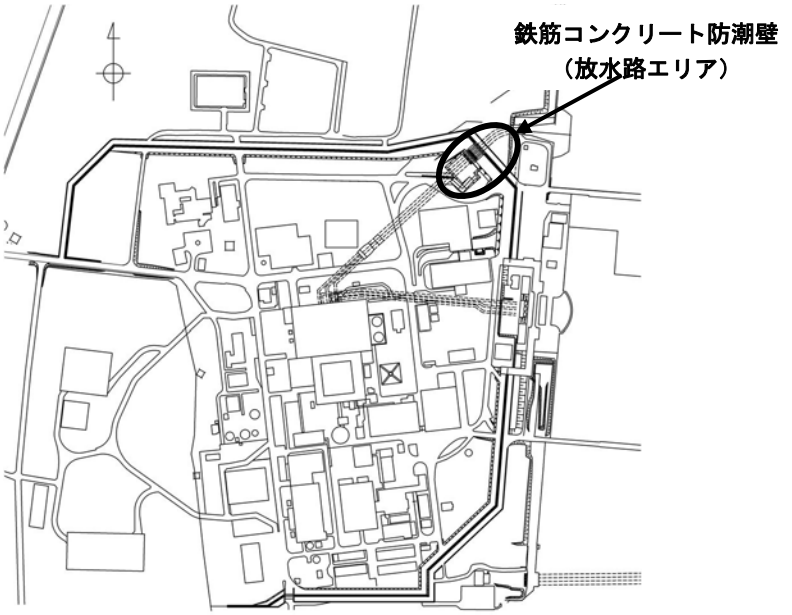
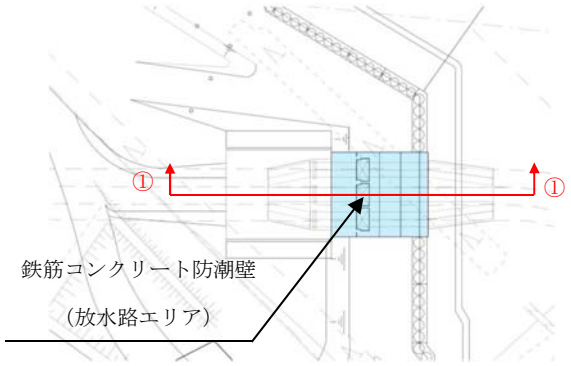
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
鉄筋コンクリート防潮壁	鉄筋コンクリート防潮壁及び地中連続壁基礎から構成する。	十分な支持性能を有する岩盤に設置する。	 正面図，断面図

表 3.2－3　防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の構造計画

<table>
<tr><td>設備名称</td><td colspan="3">配置図</td></tr>
<tr><td>防潮堤</td><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">設備名称</td><td colspan="2">計画の概要</td><td rowspan="2">説明図</td></tr>
<tr><td>主体構造</td><td>支持構造</td></tr>
<tr><td>鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）</td><td>地中連続壁基礎による下部工及び防潮壁，放水路による上部工から構成される。</td><td>地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。</td><td> 

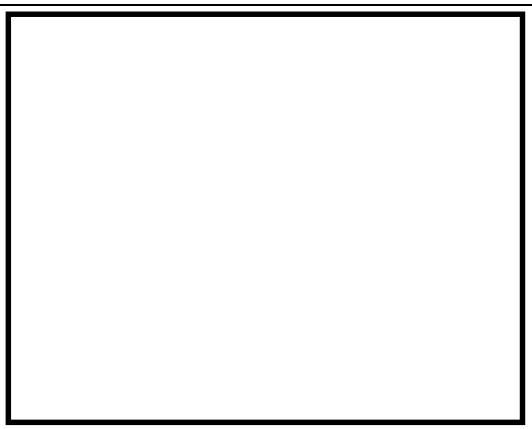
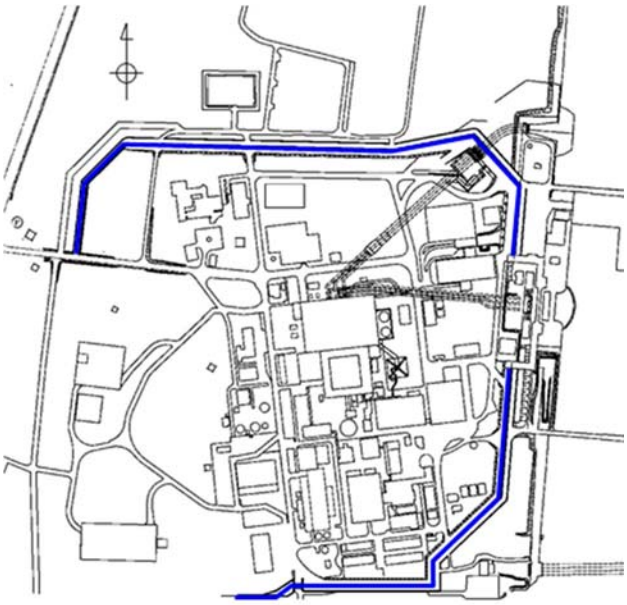
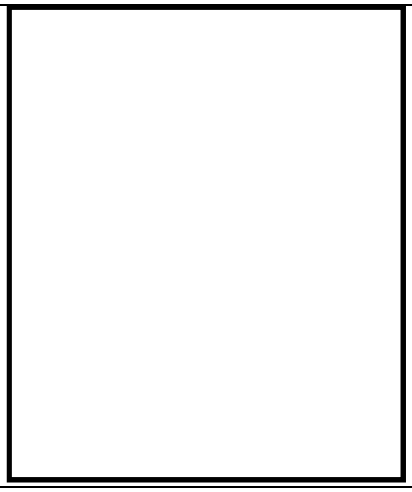
①－①断面
  </td></tr>
</table>

表 3.2－4　防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の構造計画

<table>
<tr><td>設備名称</td><td colspan="3">配置図</td></tr>
<tr><td>防潮堤</td><td colspan="3">  </td></tr>
<tr><td rowspan="2">設備名称</td><td colspan="2">計画の概要</td><td rowspan="2">説明図</td></tr>
<tr><td>主体構造</td><td>支持構造</td></tr>
<tr><td>鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁</td><td>鋼管杭による下部工と，５本の鋼管杭を束ね止水機能を確保する鉄筋コンクリートの壁による上部工から構成する。</td><td>十分な支持性能を有する岩盤に設置する。</td><td> 
断面
 </td></tr>
</table>

3.2.2 防潮扉

(1) 構造設計

防潮扉は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

防潮扉は，扉体（スキンプレート，主桁，縦補助桁，端桁及び支圧板），戸当り，駆動装置及び躯体を主体構造とする。

防潮扉の扉体は戸当りを介して，鉄筋コンクリート製の躯体にて支持する構造とする。

防潮扉1の躯体は，鉄筋コンクリート防潮壁から構成され，地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する構造とする。防潮扉2の躯体は，鉄筋コンクリート防潮壁で構成され，鋼管杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する構造とする。

また，扉体に作用する荷重は，戸当りを介して，躯体の鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。躯体に作用する荷重は，地中連続壁基礎又は鋼管杭から岩盤に作用する構造とする。

防潮扉の構造計画を表3.2-5に示す。

(2) 評価方針

防潮扉は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，扉体として鋼製のスキンプレート，主桁，縦補助桁，端桁及び支圧板が，支承部として戸当り及び躯体の鉄筋コンクリート部がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。また，躯体として鉄筋コンクリート及び鋼管杭がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，漏えいが想定される隙間は，圧着構造となるよう，扉体を構成するスキンプレート，主桁，縦補助桁及び端桁がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－5　防潮扉の構造計画（1／3）

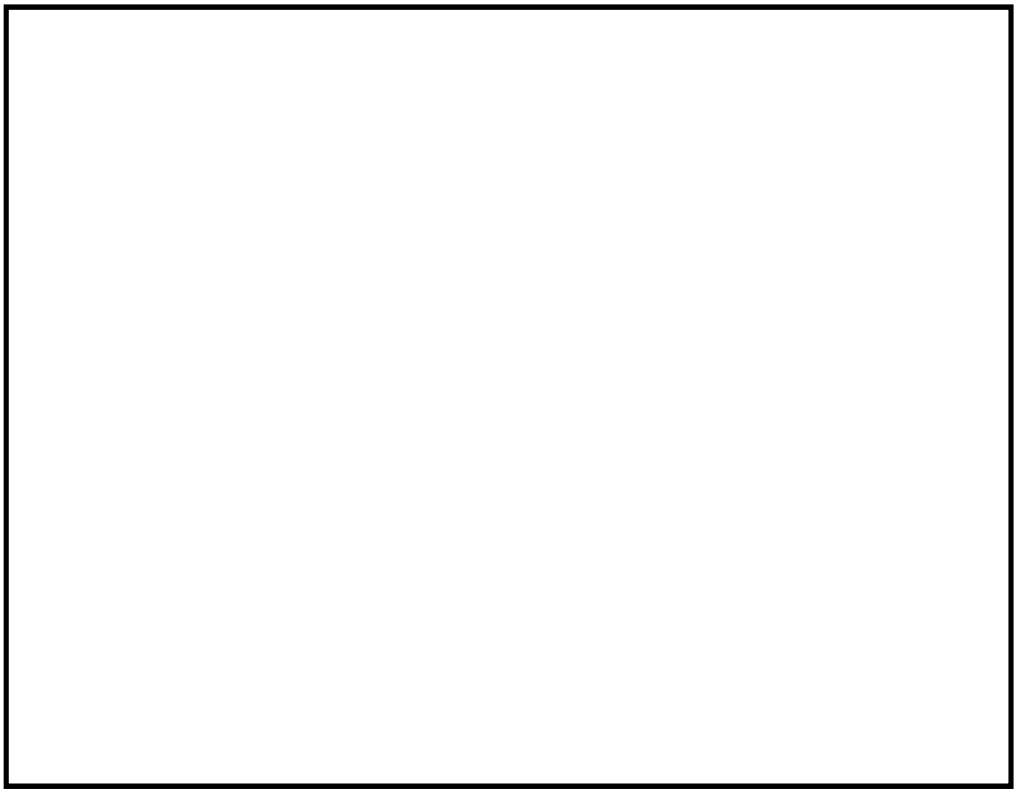
設備名称	配置図
防潮扉	

表 3.2－5　防潮扉の構造計画（2／3）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
防潮扉 1	扉及び躯体により構成する。	扉体は戸当りを介して，鉄筋コンクリート製の躯体にて支持する構造とする。 躯体は，鉄筋コンクリート防潮壁から構成され，地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する構造とする。	

表 3.2－5　防潮扉の構造計画（3／3）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
防潮扉 2	扉及び躯体により構成する。	扉体は戸当りを介して，鉄筋コンクリート製の躯体にて支持する構造とする。 躯体は，鉄筋コンクリート防潮壁で構成され，鋼管杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する構造とする。	

3.2.3　放水路ゲート

(1)　構造設計

放水路ゲートは，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

放水路ゲートは，扉体（スキンプレート，主桁，縦補助桁，端桁，支圧板及び小扉），戸当り及び駆動装置を主体構造とする。

放水路ゲートの扉体は戸当りを介して，間接支持構造物である防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））にて支持する構造とする。また，扉体に作用する荷重は，戸当りを介して，間接支持構造物である防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））に伝達する構造とする。

放水路ゲートの構造計画を表 3.2-6 に示す。

(2)　評価方針

放水路ゲートは，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，扉体として鋼製のスキンプレート，主桁，縦補助桁，端桁及び小扉が，支承部として戸当り及び鉄筋コンクリートがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，漏えいが想定される隙間は，圧着構造となるよう，扉体を構成するスキンプレート，主桁，縦補助桁，端桁及び小扉がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－6　放水路ゲートの構造計画（1／3）

設備名称	配置図
放水路ゲート	

表 3.2－6　放水路ゲートの構造計画（2／3）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
放水路ゲート 1,2,3	扉体，小扉，戸当り及び駆動装置により構成する。	放水路ゲートの扉体は戸当りを介し持構造物である防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））にて支持する構造とする。 開閉装置は防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））基礎ボルトで固定する。	

表 3.2－6　放水路ゲートの構造計画（3／3）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	

3.2.4　構内排水路逆流防止設備

(1)　構造設計

構内排水路逆流防止設備は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

構内逆流防止設備は，扉体（スキンプレート，主桁及び補助桁）及び固定部（ヒンジ，吊りピン，ジョイント，及びアンカー）を主体構造とする。

構内排水路逆流防止設備は，アンカーで鉄筋コンクリート製の集水枡に固定し，支持する構造とする。また，扉体に作用する荷重は，アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

構内排水路逆流防止設備の構造計画を表 3.2-7 に示す。

(2)　評価方針

構内排水路逆流防止設備は，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，扉体としてスキンプレート，主桁及び補助桁がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，漏えいが想定される隙間は，圧着構造となるよう，扉体を構成するスキンプレート，主桁及び補助桁がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－7　構内排水路逆流防止設備の構造計画（1／3）

設備名称	配置図
構内排水路逆流防止設備	

表 3.2－7　構内排水路逆流防止設備の構造計画（2／3）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
構内排水路逆流防止設備 1,2,3,4,7,8,9	スキンプレートにより構成する。	本体をヒンジ，ジョイント，吊りピン及びアンカーを介して出口側集水枡に固定する。	

表 3.2－7　構内排水路逆流防止設備の構造計画（3／3）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
構内排水路逆流防止設備 5,6	スキンプレートにより構成する。	本体をヒンジ，ジョイント，吊りピン及びアンカーを介して出口側集水枡に固定する。	

3.2.5　貯留堰

(1)　構造設計

貯留堰は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

貯留堰は，その機能及び目的から貯留堰本体及び護岸接続部に区分され，このうち貯留堰本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手，護岸接続部は止水ゴム，防護材及びこれらを取り付けるための鋼材より構成される。

鋼管矢板は，下端を岩盤に十分根入れすることにより支持性能を確保するとともに，天端は，残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの取水に必要な水量を確保するための高さとする。

貯留堰の構造計画を表3.2－8に示す。

(2)　評価方針

貯留堰は，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰り返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持すること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形にとどまることを確認する。

貯留堰の強度評価は，構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

構造部材の健全性評価については，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

構造物の変形性評価については，止水ゴムの変形量を算定し，有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

表 3.2－8　貯留堰の構造計画（1／2）

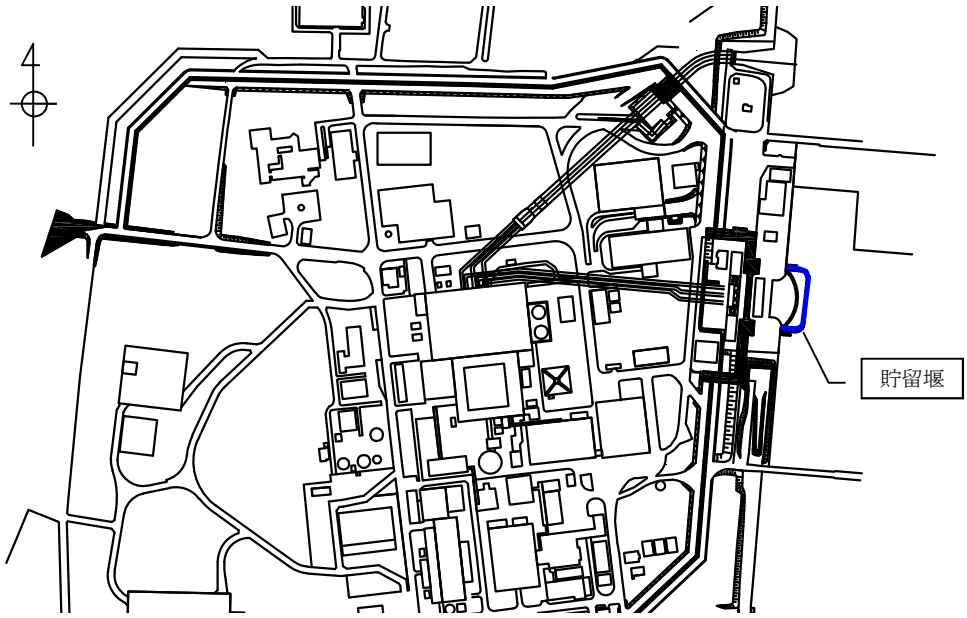
<table>
<tr><td>設備名称</td><td colspan="3">配置図</td></tr>
<tr><td rowspan="3">貯留堰</td><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">計画の概要</td><td rowspan="2">説明図</td></tr>
<tr><td>主体構造</td><td>支持構造</td></tr>
<tr><td>貯留堰本体</td><td>鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手より構成する。</td><td>鋼管矢板下端を十分な支持性能を有する岩盤に根入れする。</td><td>平面図</td></tr>
</table>

表 3.2－8　貯留堰の構造計画（2／2）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
貯留堰本体	鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手より構成する。	鋼管矢板下端を十分な支持性能を有する岩盤に根入れする。	断面図
護岸接続部	止水ゴム，防護材及びこれらを貯留堰取付護岸及び貯留堰本体に取り付けるための鋼材より構成する。	貯留堰取付護岸及び貯留堰本体に支持する。	平面図（拡大）

3.2.6　取水路点検用開口部浸水防止蓋

(1)　構造設計

取水路点検用開口部浸水防止蓋は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

取水路点検用開口部浸水防止蓋は，浸水防止蓋及び基礎ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように取水路の上版に基礎ボルトで固定し，支持する構造とする。また，浸水防止蓋に作用する荷重は，基礎ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

取水路点検用開口部浸水防止蓋の構造計画を表3.2-9に示す。

(2)　評価方針

取水路点検用開口部浸水防止蓋は，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，浸水防止蓋及び基礎ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表3.2－9　取水路点検用開口部浸水防止蓋の構造計画（1／2）

設備名称	配置図
取水路点検用 開口部 浸水防止蓋	

表 3.2－9　取水路点検用開口部浸水防止蓋の構造計画（2／2）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
取水路点検用開口部浸水防止蓋 1,10	蓋により構成する。	取水路上版に基礎ボルトで固定する。	
取水路点検用開口部浸水防止蓋 2,3,4,5,6,7,8,9	蓋により構成する。	取水路上版に基礎ボルトで固定する。	

3.2.7　海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

(1)　構造設計

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は，弁本体，フロートガイド，フロート及び基礎ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも逆止弁が動かないように海水ポンプ室の床面に基礎ボルトで固定し，支持する構造とする。また，逆止弁に作用する荷重は，基礎ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の構造計画を表 3.2-10 に示す。

(2)　評価方針

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，弁本体，フロートガイド及び基礎ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，弁本体及びフロートガイドがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－10　海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の構造計画

設備名称	配置図
海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁 1,2	弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座へ導くフロートガイド（4本）で構成する。	弁本体のフランジ部を海水ポンプ室の床面に基礎ボルトで固定する。	

3.2.8　取水ピット空気抜き配管逆止弁

(1)　構造設計

取水ピット空気抜き配管逆止弁は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

取水ピット空気抜き配管逆止弁は，弁本体，弁蓋，フロートガイド，フロート及びボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも逆止弁が動かないように循環水ポンプ室の床面に設置されている取水ピット空気抜き配管のフランジ面にボルトで固定し，更に配管系への支持構造物の取付けにより固定し，支持する構造とする。また，逆止弁に作用する荷重は，ボルト及び取水ピット空気抜き配管を介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

取水ピット空気抜き配管逆止弁の構造計画を表3.2-11に示す。

(2)　評価方針

取水ピット空気抜き配管逆止弁は，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

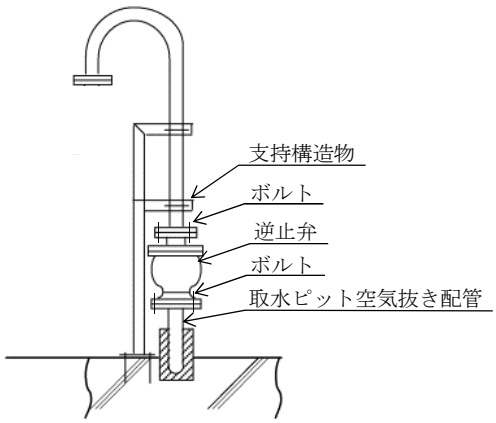
地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，弁本体，弁蓋，フロートガイド及びボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，弁本体，弁蓋及びフロートガイドがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表3.2－11　取水ピット空気抜き配管逆止弁の構造計画（1／2）

設備名称	配置図
取水ピット空気抜き配管逆止弁	

表 3.2－11　取水ピット空気抜き配管逆止弁の構造計画（2／2）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
取水ピット空気抜き配管逆止弁 1,2,3	弁本体，弁座を含む弁蓋，弁体であるフロート及びフロートを弁座へ導くフロートガイドで構成する。	弁本体及び弁蓋のフランジ部を循環水ポンプ室に設置されている取水ピット空気抜き配管のフランジ面にボルトで固定する。また，配管系への支持構造物の取付けにより固定する。	

3.2.9　海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋

(1)　構造設計

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」の「3.要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋は，浸水防止蓋及び基礎ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように海水ポンプ室の壁面に基礎ボルトで固定し，支持する構造とする。また，浸水防止蓋に作用する荷重は，基礎ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の構造計画を表 3.2-12 に示す。

(2)　評価方針

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋は，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度

評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，浸水防止蓋及び基礎ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－12　海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の構造計画

<table>
<tr><td>設備名称</td><td colspan="3">配置図</td></tr>
<tr><td>海水ポンプ室
ケーブル
点検口
浸水防止蓋</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">設備名称</td><td colspan="2">計画の概要</td><td rowspan="2">説明図</td></tr>
<tr><td>主体構造</td><td>支持構造</td></tr>
<tr><td>海水ポンプ室
ケーブル
点検口
浸水防止蓋
1,2,3</td><td>蓋により構成する。</td><td>海水ポンプ室壁面に基礎ボルトで固定する。</td><td></td></tr>
</table>

3.2.10 ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋は，浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁並びに固定ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないようにＳＡ用海水ピットの床面に固定ボルト及びヒンジで固定し，支持する構造とする。また，浸水防止蓋に作用する荷重は，固定ボルト及びヒンジを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋の構造計画を表3.2－13に示す。

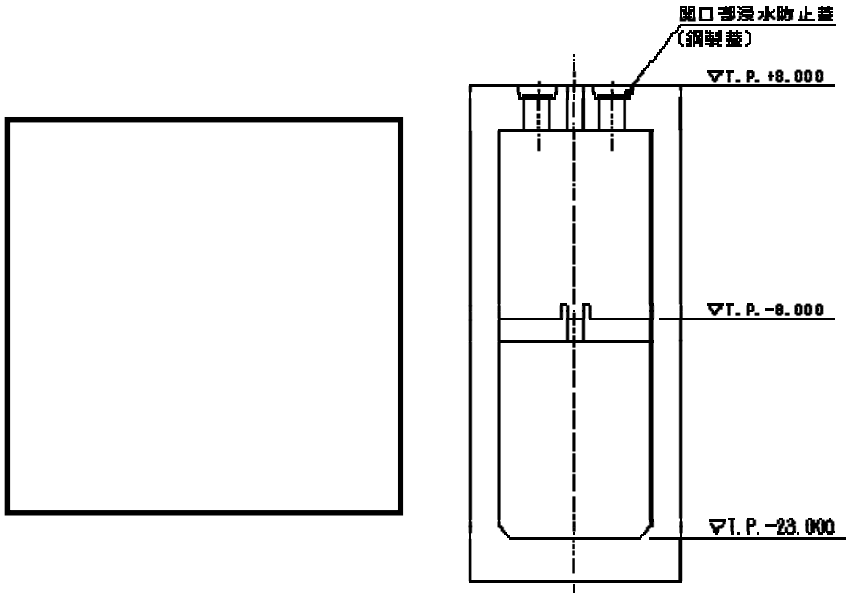
(2) 評価方針

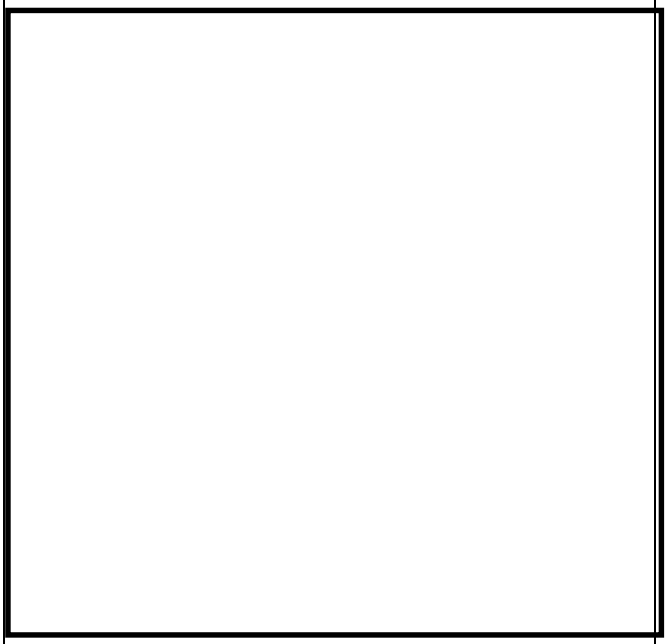
ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁が，固定部として固定ボルト及びヒンジがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－13　ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋の構造計画

設備名称	配置図
ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋 1, 2, 3, 4, 5, 6	鋼製の浸水防止蓋で構成する。	ＳＡ用海水ピット開口部に固定ボルトで固定する。	

3.2.11 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋は，浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁並びに固定ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように緊急用海水ポンプ室の床面に固定ボルトで固定し，支持する構造とする。また，浸水防止蓋に作用する荷重は，固定ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の構造計画を表 3.2－14 に示す。

(2) 評価方針

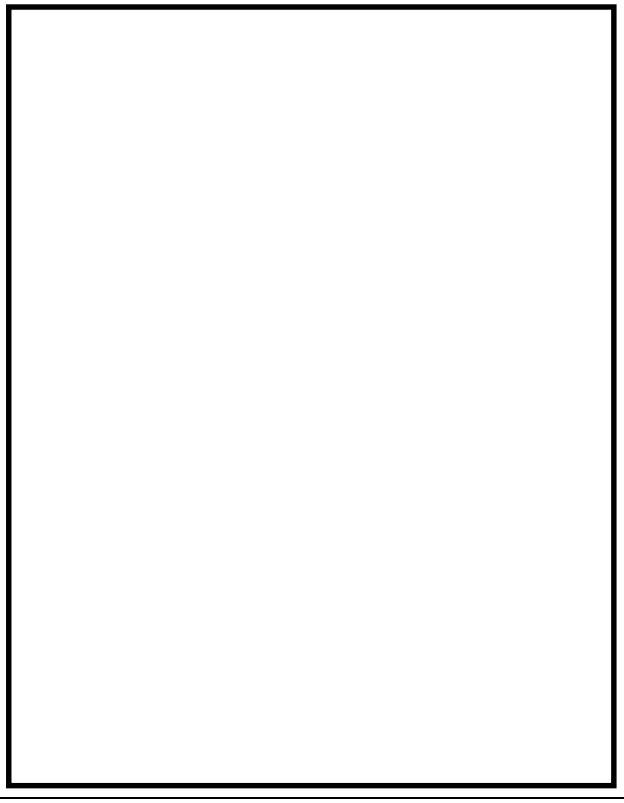
緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁が，固定部として固定ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－14　緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の構造計画

設備名称	配置図
緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋	蓋により構成する。	緊急用海水ポンプ室床面に固定ボルトで固定する。	

3.2.12 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は，浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁並びに固定ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように緊急用海水ポンプピットの上版に固定ボルトで固定し，支持する構造とする。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構造計画を表 3.2-15 に示す。

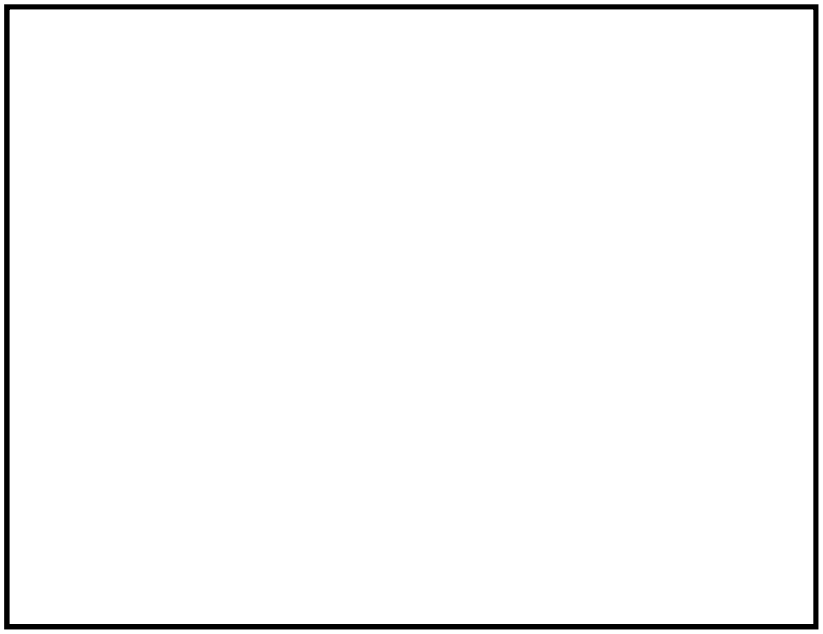
(2) 評価方針

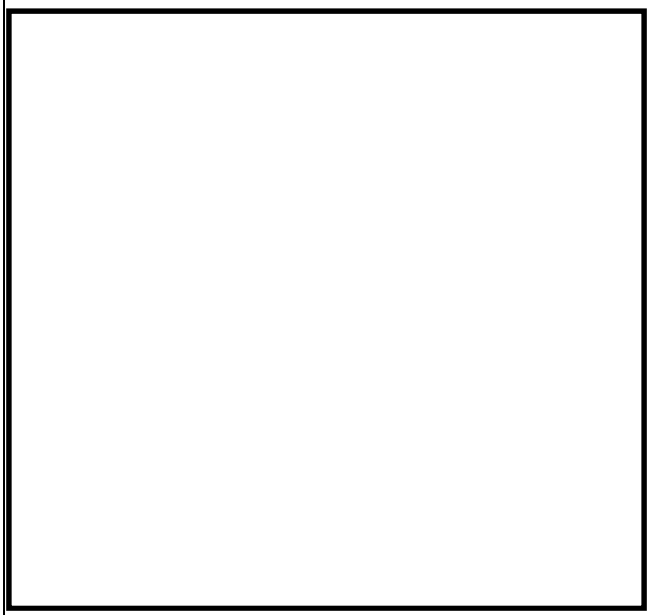
緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁が，固定部として固定ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－15　緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構造計画

設備名称	配置図
緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋	鋼製の浸水防止蓋で構成する。	最上部スラブ（頂版部）の人員用開口部分に固定ボルトで固定する。	

3.2.13 緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋は，浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁並びに固定ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように緊急用海水ポンプピットの上版に固定ボルトで固定し，支持する構造とする。

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の構造計画を表 3.2－16 に示す。

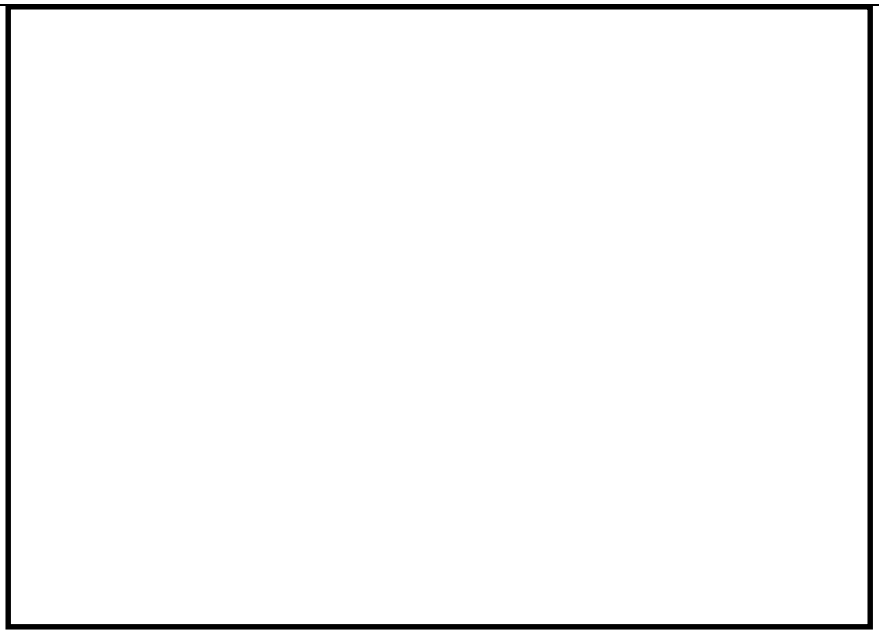
(2) 評価方針

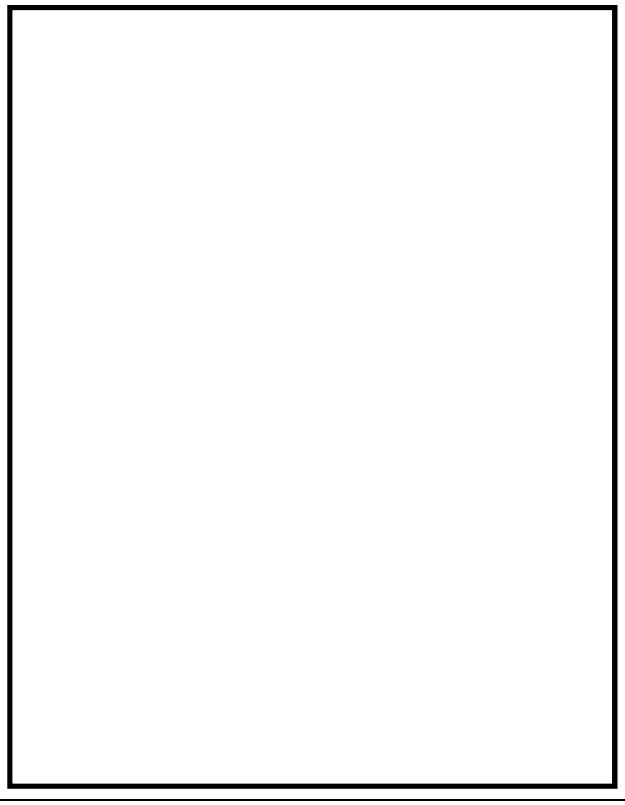
緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁が，固定部として固定ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－16　緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の構造計画

設備名称	配置図
緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋	鋼製の浸水防止蓋で構成する。	海水ポンプ点検用ピット最上部のスラブ部分（頂版部）に固定ボルトで固定する。	

3.2.14 緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

(1) 構造設計

緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は，弁本体，フロートガイド，フロート及び基礎ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも逆止弁が動かないように緊急用海水ポンプ室の床面に基礎ボルトで固定し，支持する構造とする。また，逆止弁に作用する荷重は，基礎ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の構造計画を表 3.2-17 に示す。

(2) 評価方針

緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，弁本体，フロートガイド及び基礎ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，弁本体及びフロートガイドがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－17　緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の構造計画

設備名称	配置図
緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁	弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座へ導くフロートガイド（4本）で構成する。	弁本体のフランジ部を海水ポンプ室の床面に基礎ボルトで固定する。	

3.2.15 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁

(1) 構造設計

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は，弁本体，フロートガイド，フロート及び基礎ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも逆止弁が動かないように緊急用海水ポンプ室の床面に基礎ボルトで固定し，支持する構造とする。また，逆止弁に作用する荷重は，基礎ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の構造計画を表 3.2-18 に示す。

(2) 評価方針

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，弁本体，フロートガイド及び基礎ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，弁本体及びフロートガイドがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－18　緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の構造計画

設備名称	配置図
緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁	弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座へ導くフロートガイド（4本）で構成する。	弁本体のフランジ部を海水ポンプ室の床面に基礎ボルトで固定する。	

3.2.16 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋は，浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁並びに固定ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように緊急用海水ポンプ室の床面に固定ボルトで固定し，支持する構造とする。また，浸水防止蓋に作用する荷重は，固定ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の構造計画を表 3.2-19 に示す。

(2) 評価方針

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁が，固定部として固定ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－19　放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の構造計画（1／2）

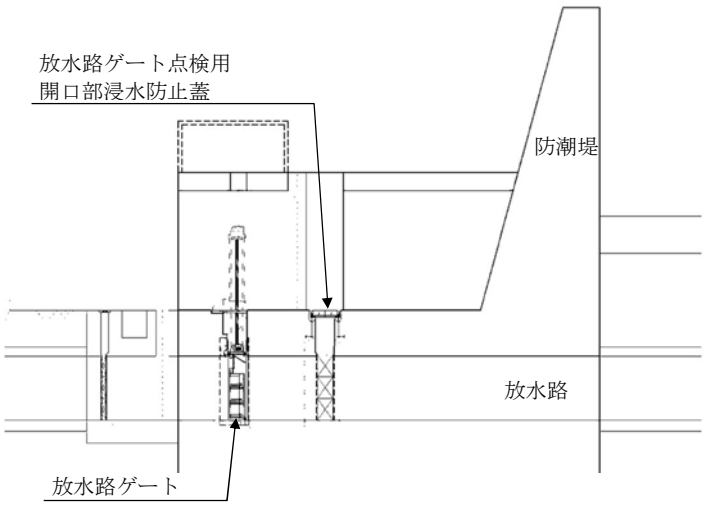
設備名称	配置図
放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋	（平面図）  （A-A 断面図）

表 3.2－19　放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の構造計画（2／2）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋 1,2,3	蓋により構成する。	放水路上版に固定ボルトで固定する。	

3.2.17 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ

(1) 構造設計

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチは，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチは，上蓋及び固定ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように格納容器圧力逃がし装置格納槽の上版に固定ボルトで固定し，支持する構造とする。

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの構造計画を表 3.2-20 に示す。

(2) 評価方針

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチは，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－20 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの構造計画（1／2）

設備名称	配置図
格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ	

表 3.2－20　格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの構造計画（2／2）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ A	上蓋により構成する。	格納容器圧力逃がし装置格納槽の上版に固定ボルトで固定する。	
格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ B	上蓋により構成する。	格納容器圧力逃がし装置格納槽の上版に固定ボルトで固定する。	

3.2.18 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ

(1) 構造設計

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチは，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチは，上蓋及び固定ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように格納容器圧力逃がし装置格納槽の上版に固定ボルトで固定し，支持する構造とする。

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチの構造計画を表 3.2-21 に示す。

(2) 評価方針

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチは，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－21　常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチの構造計画

設備名称	配置図
常設低圧 代替注水系 格納槽点検用 水密ハッチ	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設低圧 代替注水系 格納槽点検用 水密ハッチ	上蓋により構成する。	常設低圧代替注水系格納槽の上版に固定ボルトで固定する。	

3.2.19 常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ

(1) 構造設計

常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチは，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチは，上蓋及び固定ボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように格納容器圧力逃がし装置格納槽の上版に固定ボルトで固定し，支持する構造とする。

常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチの構造計画を表3.2-22に示す。

(2) 評価方針

常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチは，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－22　常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチの構造計画

設備名称	配置図
常設低圧 代替注水系 格納槽点検用 水密ハッチ	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設低圧 代替注水系 格納槽点検用 水密ハッチ	上蓋により構成する。	常設低圧代替注水系格納槽の上版に固定ボルトで固定する。	

3.2.20 常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉

(1) 構造設計

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉は，水密扉として扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも水密扉が動かないように鉄筋コンクリートの壁面にアンカーで固定し，支持する構造とする。また，水密扉に作用する荷重は，カンヌキ，カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルト及アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉の構造計画を表 3.2-23 に示す。

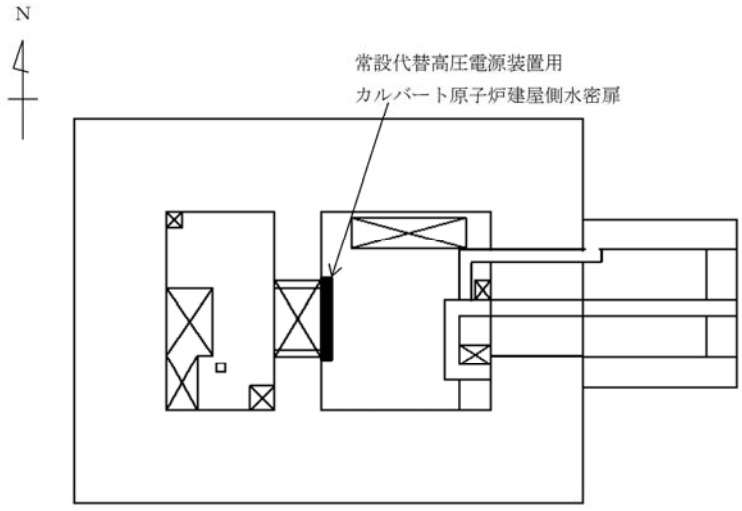
(2) 評価方針

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，扉板，芯材，カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，扉板及び芯材がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－23　常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉の構造計画

設備名称	配置図
常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉	扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトにより構成する。	常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の壁面にアンカーで固定する。	

3.2.21 原子炉建屋原子炉棟水密扉

(1) 構造設計

原子炉建屋原子炉棟水密扉は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

原子炉建屋原子炉棟水密扉は，水密扉として扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも水密扉が動かないように鉄筋コンクリートの壁面にアンカーで固定し，支持する構造とする。また，水密扉に作用する荷重は，カンヌキ，カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルト及アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

原子炉建屋原子炉棟水密扉の構造計画を表 3.2-24 に示す。

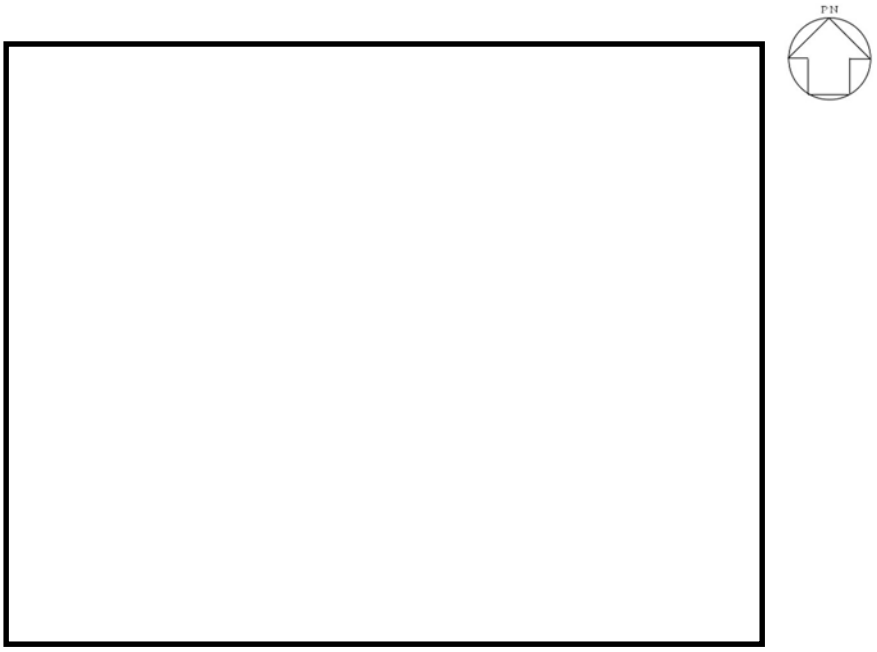
(2) 評価方針

原子炉建屋原子炉棟水密扉は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，扉板，芯材，カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，扉板及び芯材がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－24　原子炉建屋原子炉棟水密扉の構造計画

設備名称	配置図
原子炉建屋 原子炉棟 水密扉	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋 原子炉棟 水密扉	扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトにより構成する。	原子炉建屋壁面にアンカーで固定する。	

3.2.22 原子炉建屋付属棟東側水密扉

(1) 構造設計

原子炉建屋付属棟東側水密扉は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

原子炉建屋付属棟東側水密扉は，水密扉として扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも水密扉が動かないように鉄筋コンクリートの壁面にアンカーで固定し，支持する構造とする。また，水密扉に作用する荷重は，カンヌキ，カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルト及アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

原子炉建屋付属棟東側水密扉の構造計画を表 3.2-25 に示す。

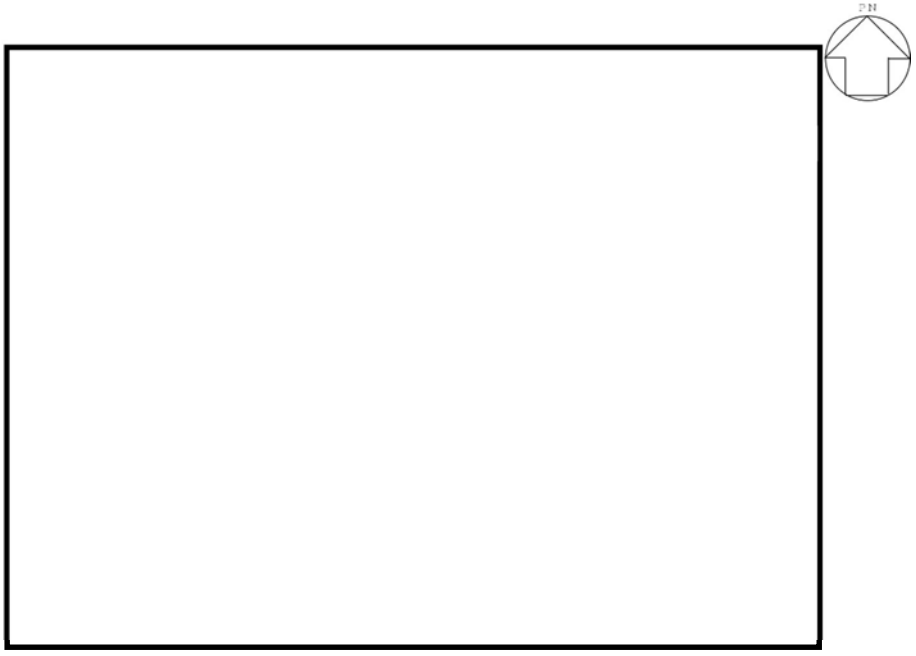
(2) 評価方針

原子炉建屋付属棟東側水密扉は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，扉板，芯材，カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，扉板及び芯材がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－25　原子炉建屋付属棟東側水密扉の構造計画

設備名称	配置図
原子炉建屋付属棟東側水密扉	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋付属棟東側水密扉	扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトにより構成する。	原子炉建屋壁面にアンカーで固定する。	

3.2.23 原子炉建屋付属棟西側水密扉

(1) 構造設計

原子炉建屋付属棟西側水密扉は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

原子炉建屋付属棟西側水密扉は，水密扉として扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも水密扉が動かないように鉄筋コンクリートの壁面にアンカーで固定し，支持する構造とする。また，水密扉に作用する荷重は，カンヌキ，カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルト及アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

原子炉建屋付属棟西側水密扉の構造計画を表 3.2-26 に示す。

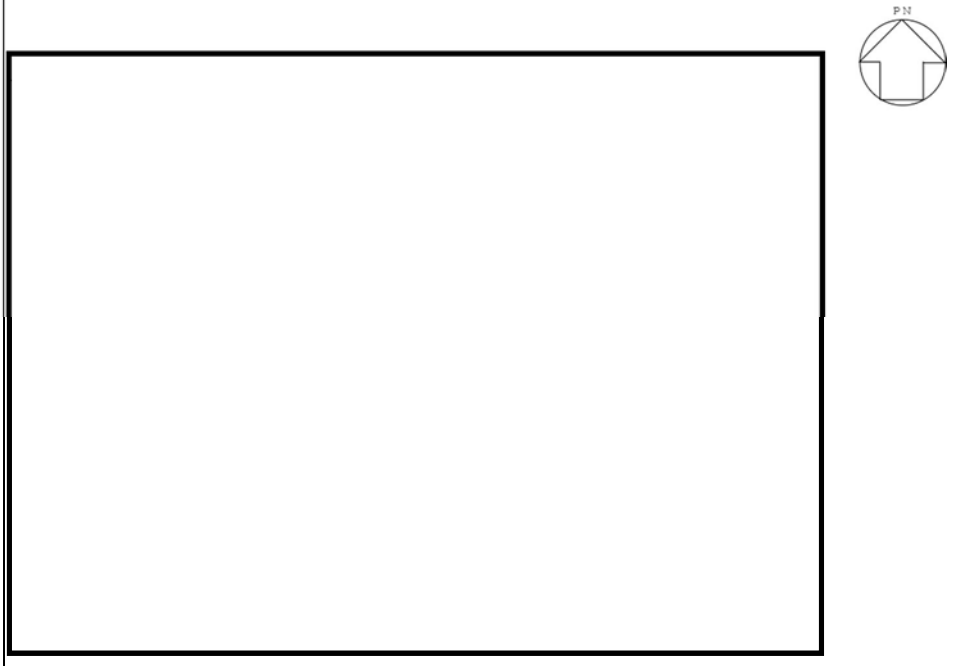
(2) 評価方針

原子炉建屋付属棟西側水密扉は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，扉板，芯材，カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，扉板及び芯材がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－26　原子炉建屋付属棟西側水密扉の構造計画

設備名称	配置図
原子炉建屋付属棟西側水密扉	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋付属棟西側水密扉	扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトにより構成する。	原子炉建屋壁面にアンカーで固定する。	

3.2.24 原子炉建屋付属棟南側水密扉

(1) 構造設計

原子炉建屋付属棟南側水密扉は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

原子炉建屋付属棟南水密扉は，水密扉として扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも水密扉が動かないように鉄筋コンクリートの壁面にアンカーで固定し，支持する構造とする。また，水密扉に作用する荷重は，カンヌキ，カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルト及アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

原子炉建屋付属棟南側水密扉の構造計画を表 3.2-27 に示す。

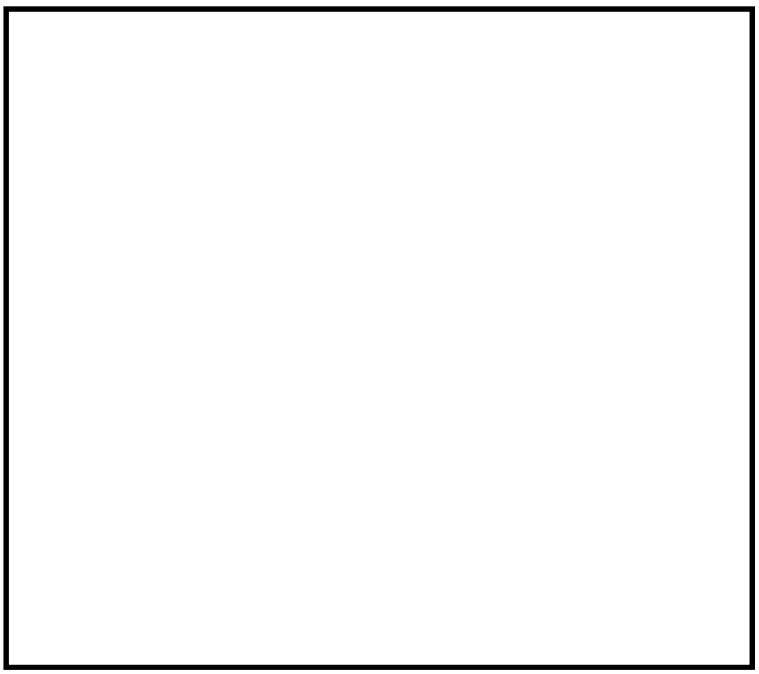
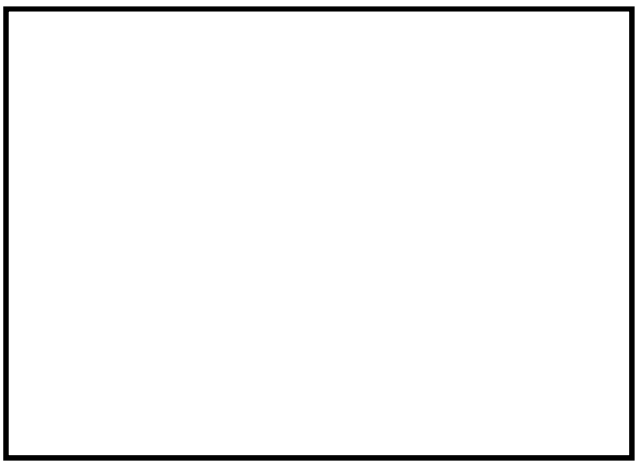
(2) 評価方針

原子炉建屋付属棟南側水密扉は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，扉板，芯材，カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，扉板及び芯材がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－27　原子炉建屋付属棟南側水密扉の構造計画

設備名称	配置図		
原子炉建屋付属棟南側水密扉			
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋付属棟南側水密扉	扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトにより構成する。	原子炉建屋壁面にアンカーで固定する。	

3.2.25 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1

(1) 構造設計

原子炉建屋付属棟南側水密扉 1 は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

原子炉建屋付属棟北水密扉 1 は，水密扉として扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも水密扉が動かないように鉄筋コンクリートの壁面にアンカーで固定し，支持する構造とする。また，水密扉に作用する荷重は，カンヌキ，カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルト及アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の構造計画を表 3.2-28 に示す。

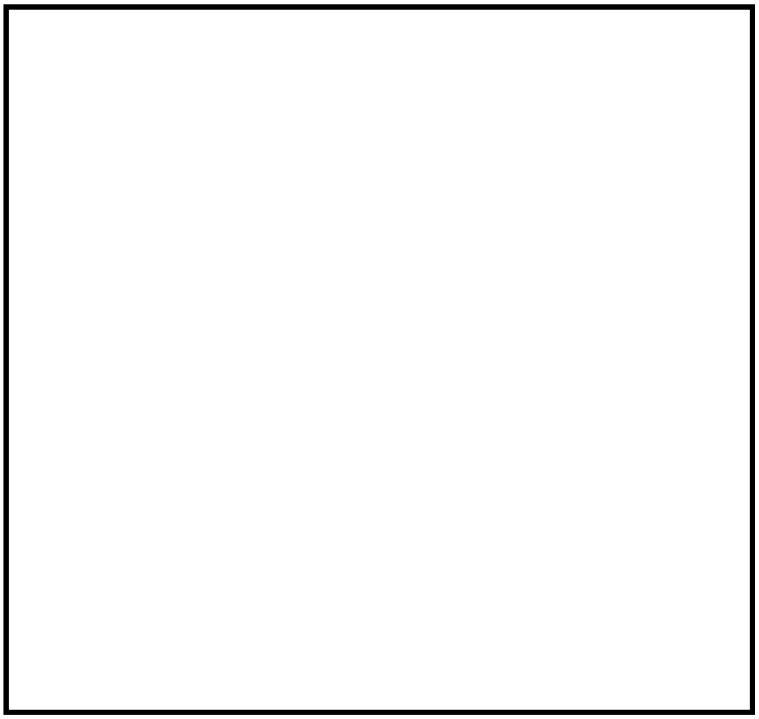
(2) 評価方針

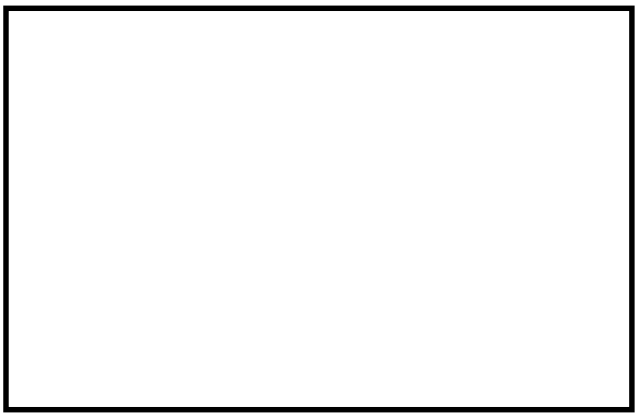
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，扉板，芯材，カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，扉板及び芯材がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－28　原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の構造計画

設備名称	配置図
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトにより構成する。	原子炉建屋壁面にアンカーで固定する。	

3.2.26 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2

(1) 構造設計

原子炉建屋付属棟南側水密扉 2 は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

原子炉建屋付属棟北水密扉 2 は，水密扉として扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトを主体構造とし，荷重が作用した場合にも水密扉が動かないように鉄筋コンクリートの壁面にアンカーで固定し，支持する構造とする。また，水密扉に作用する荷重は，カンヌキ，カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルト及アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の構造計画を表 3.2-29 に示す。

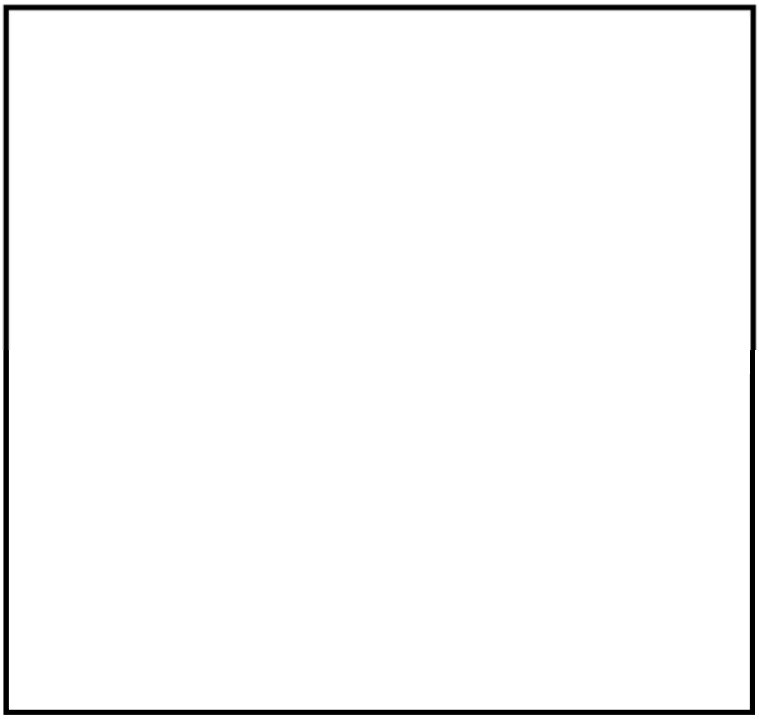
(2) 評価方針

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，扉板，芯材，カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，止水機能を損なわないよう，扉板及び芯材がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－29　原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の構造計画

設備名称	配置図		
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2			
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトにより構成する。	原子炉建屋壁面にアンカーで固定する。	

3.2.27 防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置

(1) 構造設計

防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置は，モルタルによる止水処置及びシール材による止水処置を主体構造とする。モルタルによる止水処置は，貫通口と貫通物の隙間にモルタルを充てんすることにより，止水する構造とする。シール材による止水処置は，貫通口と貫通物の隙間にシール材をコーキングすることにより，止水する構造とする。

防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置の構造計画を表 3.2-30 に示す。

(2) 評価方針

防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

モルタルによる止水処置については，地震後の繰返しの襲来を想定した津波高さに余裕を持った津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，モルタルの許容荷重以下にとどまることを確認する。

シール材による止水処置については，地震後の繰返しの襲来を想定した津波高さに余裕を持った津波荷重に対し，有意な漏えいが生じないように津波荷重から計算により求めた圧力が水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する。

表 3.2－30　防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置の構造計画（1/2）

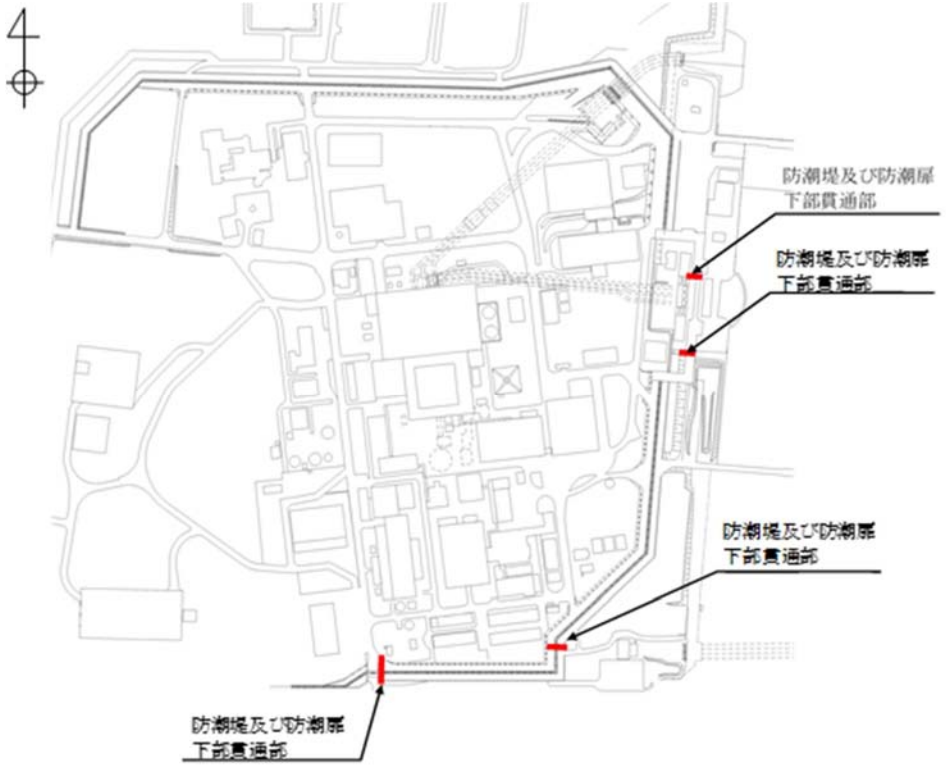
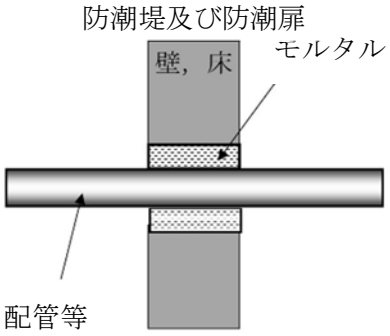
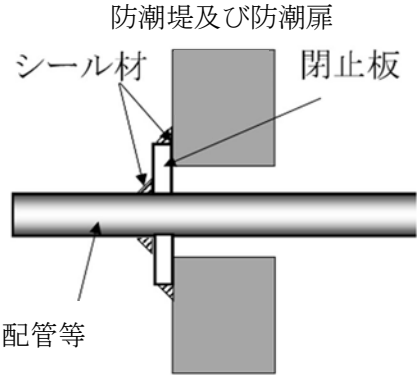
設備名称	配置図
防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置	

表 3.2－30　防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置の構造計画（2/2）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置	モルタルにより構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。 なお，モルタルと貫通物の接合部及びモルタルと防潮堤及び防潮扉の壁面の接合部はコーキングを行う。	
	コーキングタイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部と貫通部のすき間にコーキングする。 貫通部の開口部に閉止板を設置する場合は，閉止板と貫通部のすき間をコーキングする。 施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，閉止板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 ※：配管等がない貫通部への閉止キャップ及び閉止板による止水含む

3.2.28 海水ポンプ室貫通部止水処置

(1) 構造設計

海水ポンプ室貫通部止水処置は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

海水ポンプ室止水処置は，モルタルによる止水処置，シール材及びブーツによる止水処置を主体構造とする。モルタルによる止水処置は，貫通口と貫通物の隙間にモルタルを充てんすることにより，して止水する構造とする。シール材による止水処置は，貫通口と貫通物の隙間にシール材を重点又はコーキングすることにより，止水する構造とする。ブーツによる止水処置は，貫通孔と貫通物にブーツ材を締付バンドにて締結することにより，止水する構造とする。

海水ポンプ室貫通部止水処置の構造計画を表 3.2-31 に示す。

(2) 評価方針

海水ポンプ室貫通部止水処置は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

モルタルによる止水処置については，地震後の繰返しの襲来を想定した津波高さに余裕を持った津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，モルタルの許容荷重以下にとどまることを確認する。

シール材及びブーツによる止水処置については，地震後の繰返しの襲来を想定した津波高さに余裕を持った津波荷重に対し，有意な漏えいが生じないように津波荷重から計算により求めた圧力が水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する。

表 3.2－31　海水ポンプ室貫通部止水処置の構造計画（1/3）

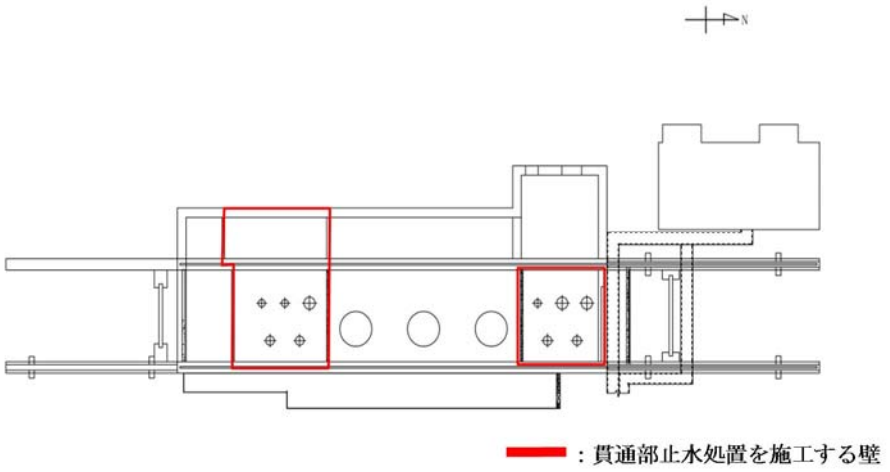
設備名称	配置図
海水ポンプ室 貫通部 止水処置	

表 3.2－31　海水ポンプ室貫通部止水処置の構造計画（2/3）

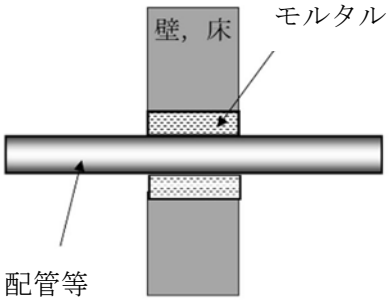
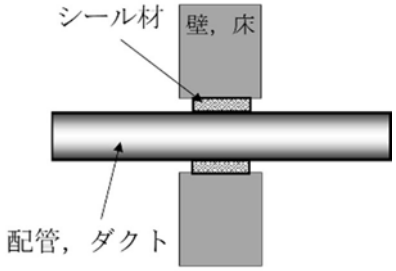
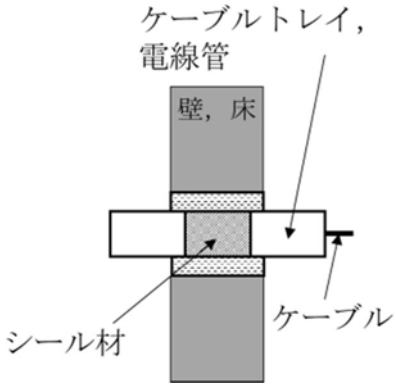
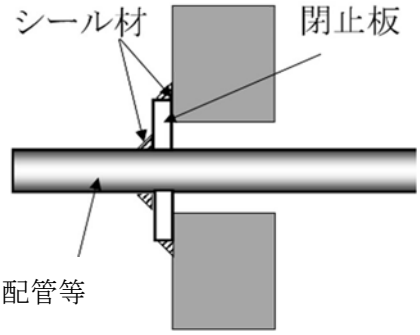
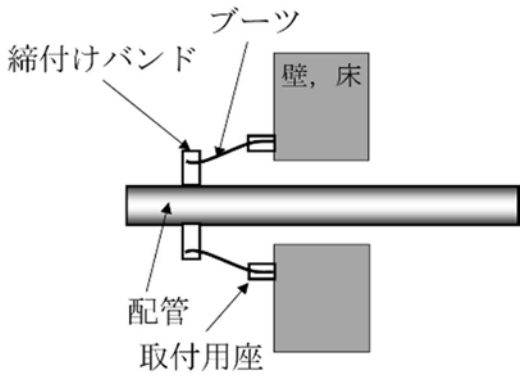
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
海水ポンプ室 貫通部 止水処置	モルタルにより構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。 なお，モルタルと貫通物の接合部及びモルタルと防潮堤及び防潮扉の壁面の接合部はコーキングを行う。	
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 

表 3.2－31　海水ポンプ室貫通部止水処置の構造計画（3/3）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
海水ポンプ室 貫通部 止水処置	コーキングタイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部と貫通部のすき間にコーキングする。 貫通部の開口部に閉止板を設置する場合は，閉止板と貫通部のすき間をコーキングする。 施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，閉止板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 ※：配管等がない貫通部への閉止キャップ及び閉止板による止水含む
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い，壁面又は床面に溶接した取付用座と配管にて締付けバンドにて締結する。	

3.2.29 原子炉建屋境界貫通部止水処置

(1) 構造設計

原子炉建屋境界貫通部止水処置は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

原子炉建屋境界貫通部止水処置は，モルタルによる止水処置，シール材及びブーツによる止水処置を主体構造とする。モルタルによる止水処置は，貫通口と貫通物の隙間にモルタルを充てんすることにより，して止水する構造とする。シール材による止水処置は，貫通口と貫通物の隙間にシール材を重点又はコーキングすることにより，止水する構造とする。ブーツによる止水処置は，貫通孔と貫通物にブーツ材を締付バンドにて締結することにより，止水する構造とする。

原子炉建屋境界貫通部止水処置の構造計画を表 3.2-32 に示す。

(2) 評価方針

原子炉建屋境界貫通部止水処置は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

モルタルによる止水処置については，地震後の繰返しの襲来を想定した津波高さに余裕を持った津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，モルタルの許容荷重以下にとどまることを確認する。

シール材及びブーツによる止水処置については，地震後の繰返しの襲来を想定した津波高さに余裕を持った津波荷重に対し，有意な漏えいが生じないように津波荷重から計算により求めた圧力が水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する。

表 3.2－32　原子炉建屋境界貫通部止水処置の構造計画（1/3）

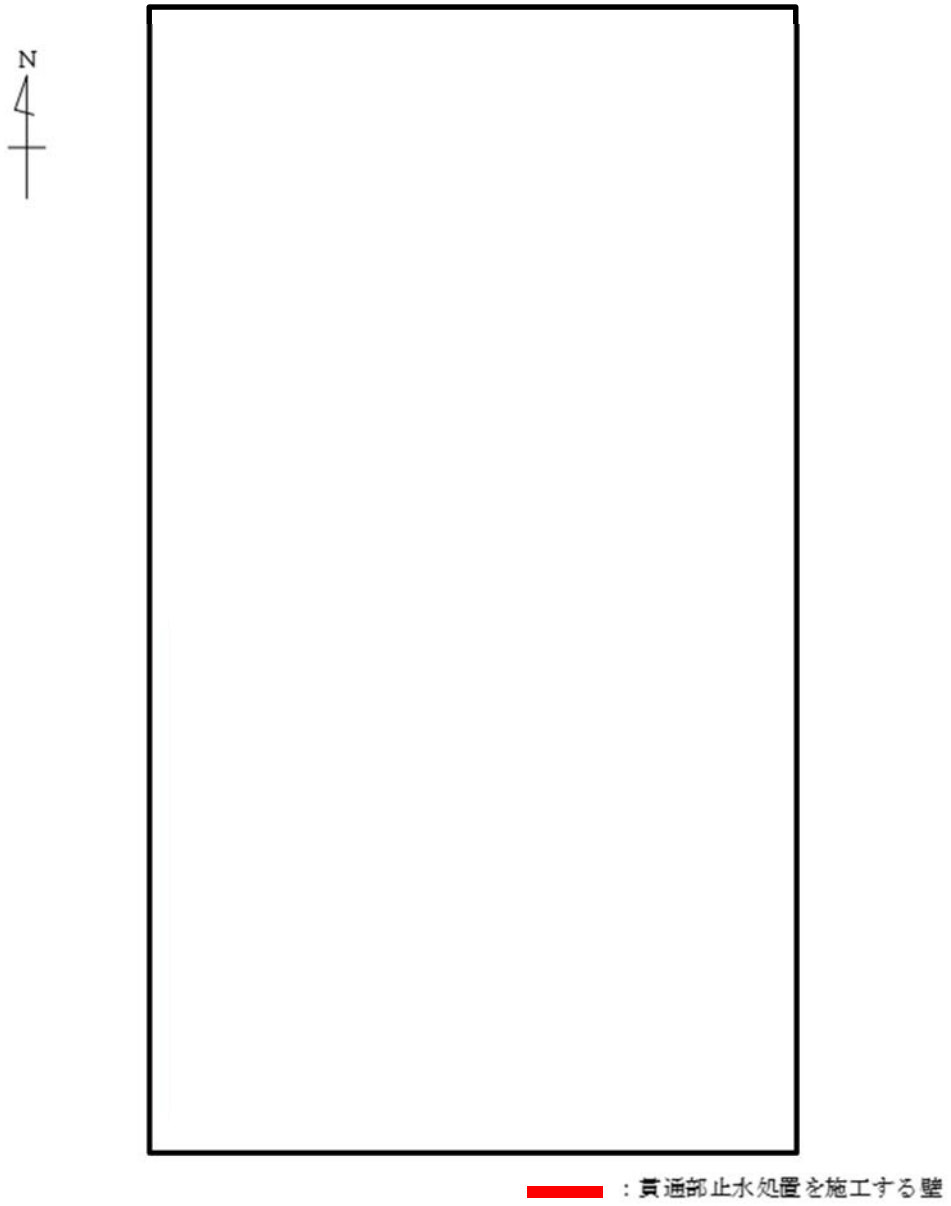
設備名称	配置図
原子炉建屋 境界貫通部 止水処置	

表 3.2－32　原子炉建屋境界貫通部止水処置の構造計画（2/3）

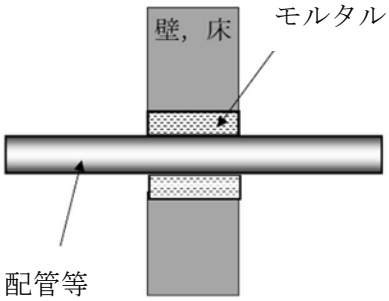
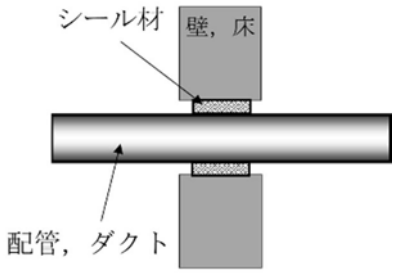
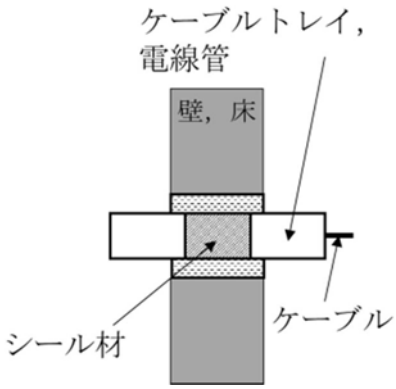
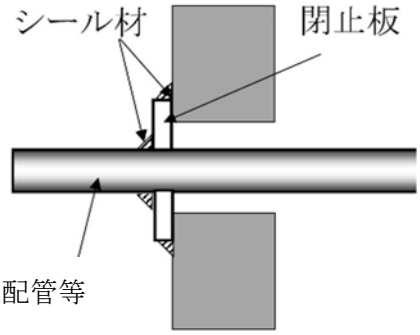
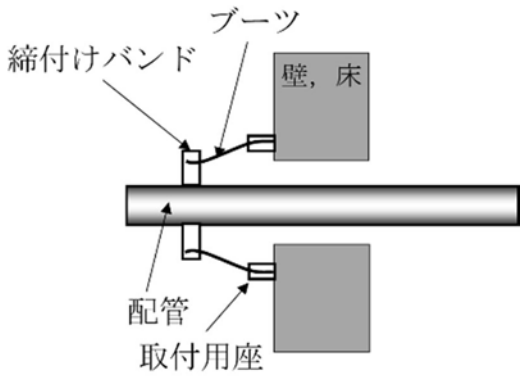
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋境界貫通部止水処置	モルタルにより構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。 なお，モルタルと貫通物の接合部及びモルタルと防潮堤及び防潮扉の壁面の接合部はコーキングを行う。	
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 

表 3.2－32　原子炉建屋境界貫通部止水処置の構造計画（3/3）

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋境界貫通部止水処置	コーキングタイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部と貫通部のすき間にコーキングする。貫通部の開口部に閉止板を設置する場合は，閉止板と貫通部のすき間をコーキングする。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，閉止板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 ※：配管等がない貫通部への閉止キャップ及び閉止板による止水含む
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い，壁面又は床面に溶接した取付用座と配管にて締付けバンドにて締結する。	

3.2.30 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置

(1) 構造設計

常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置は，モルタルによる止水処置を主体構造とする。モルタルによる止水処置は，貫通口と貫通物の隙間にモルタルを充てんすることにより，止水する構造とする。

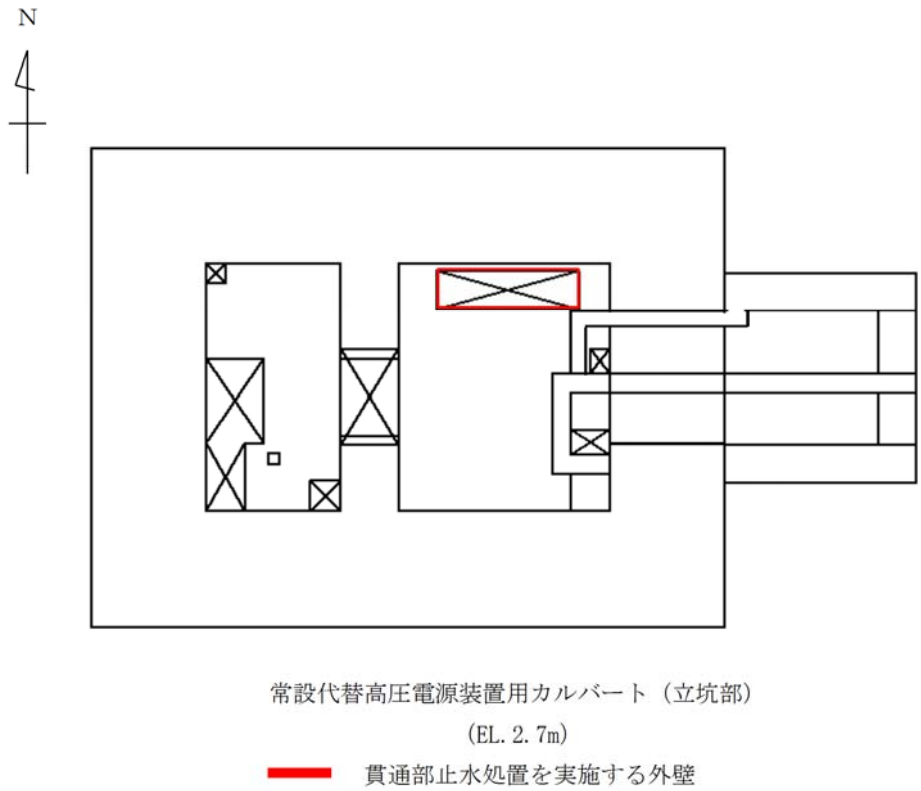
常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置の構造計画を表 3.2-33 に示す。

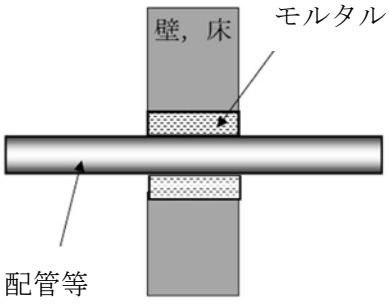
(2) 評価方針

常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置は，「(1) 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

モルタルによる止水処置については，地震後の繰返しの襲来を想定した津波高さに余裕を持った津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，モルタルの許容荷重以下にとどまることを確認する。

表 3.2－33　常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置の構造計画（1/3）

設備名称	配置図
常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置	モルタルにより構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。 なお，モルタルと貫通物の接合部及びモルタルと防潮堤及び防潮扉の壁面の接合部はコーキングを行う。	

4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

浸水防護施設の強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せを以下の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2　許容限界」に示す。

4.1　荷重及び荷重の組合せ

(1)　荷重の種類

a.　常時作用する荷重（D，G，P）

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重又は固定荷重，積載荷重，土圧及び海中部に対する静水圧（浮力含む。）とする。

b.　津波荷重（P_t，P_h）

津波荷重は，施設ごとに設置位置における津波の浸入形態に応じて，以下のとおり，遡上津波荷重，突き上げ津波荷重又は浸水津波荷重として算定する。

(a)　遡上津波荷重（P_t）

遡上津波荷重は，遡上波により波圧として作用する荷重であり，「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成 25 年 9 月）」等を参考に，各施設の設置位置等における遡上波の高さから，津波波圧算定式として朝倉式を適用する場合は，各施設の設置位置における設置高さを考慮し，津波の水位と各施設の設置高さの差分の 1／2 倍を浸水深として，浸水深の 3 倍で作用する水圧として算定する。

(b)　突き上げ津波荷重（P_t）

突き上げ津波荷重は，床面に設置されている施設に対して，経路からの津波が鉛直上向き方向に作用した場合の津波荷重であり，各施設の設置位置における経路からの津波高さ及び流速を用いて算定する。

(b)　浸水津波荷重（P_h）

浸水津波荷重は，経路からの津波による浸水又は津波による溢水により冠水した場合に静水圧として作用する荷重であり，各施設の設置位置における施設の設置高さ及び浸水深さを考慮して，静水圧として算定する。また，閉塞部における浸水津波荷重については余震の鉛直方向成分の影響を考慮する。

c.　余震荷重（K_{Sd}）

余震荷重は，弾性設計用地震動S_d－Ｄ１に伴う地震力（動水圧含む。）として算定する。

d.　衝突荷重（P_c）

防潮堤の外側の衝突過重は，漂流物として，調査の結果から最も質量が大きい総トン数 5t（排水トン数 15t）の漁船を考慮するとともに，浸水防護施設まで到達する可能性のあるものとして 0.08t の流木及び 0.69t の車両を想定し，敷地前面海域及び防潮堤近傍の津波の流速を考慮して算定する。衝突荷重の算定に当たっては，漂流物の種類に応じて，「道路橋示方書」，「FEMA」等による式から適用可能なものを選定して算出し，最も大きくなった漂流物荷重を設定する。

防潮堤の内側の衝突荷重は，漂流物として，調査の結果から最も質量が大きい 1.5t の車両を考慮し，防潮堤内側の遡上波の流速を考慮して「道路橋示方書」による式で算定する。

e.　風荷重（P_k）

風荷重は，平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1454 号に定められた東海村の基準風速 30m／s を使用する。浸水防護施設が設置される状況に応じて，建築基準法及び建設省告示第 1454 号に基づき，ガスト影響係数等を適切に設定して算出する。

f.　積雪荷重（P_s）

積雪荷重は，建築基準法施行規則細則（茨城県）に定められた東海村の垂直積雪量 30 cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を基本として設定し，積雪量 1 cm ごとに 20 N／m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し，各施設の積雪面積を乗じて設定する。

(2)　荷重の組合せ

各施設の強度計算に用いる荷重の組合せは，施設の配置，構造計画に基づく形状及び評価部位を踏まえて，「(1)　荷重の種類」で示した荷重 a.～f. を常時作用する荷重，津波の形態に応じた津波荷重等及びその他自然現象による荷重に分けて適切に組み合わせる。

荷重の組合せにおいては，まず，常時作用する荷重として，対象施設に応じて，以下の荷重の組合せを考慮する。構造物については，固定荷重（G）を考慮する。さらに，上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造である場合は，積載荷重（P）を組み合わせる。一方，機器類については，自重（D）を考慮する。

次に，津波の形態に応じた津波荷重等の組合せを考慮する。

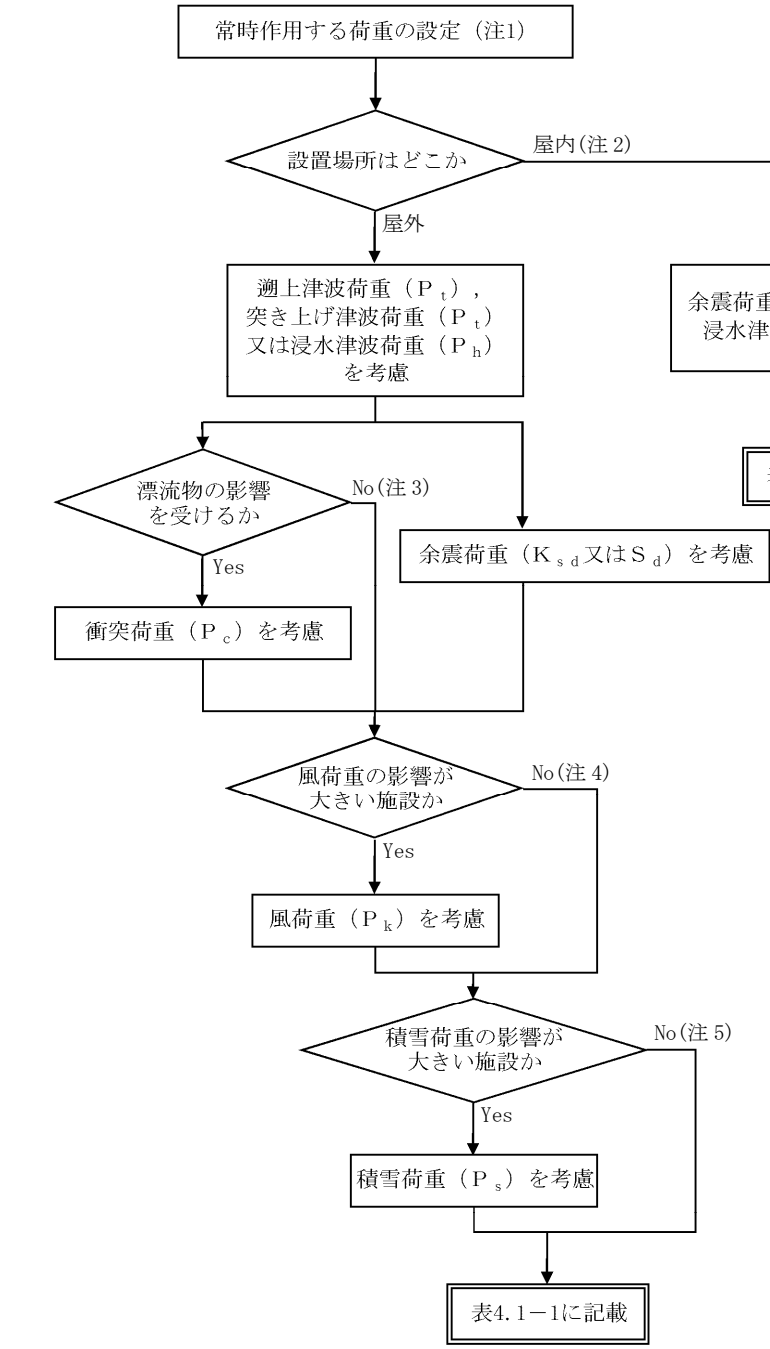
津波荷重として，遡上津波荷重（P_t），突き上げ津波荷重（P_t）又は浸水津波荷重（P_h）を考慮する場合（漂流物の影響を受ける位置に設置している施設については，衝突荷重（P_c）の組合せを考慮する（以下「津波時」という。））と，遡上津波荷重（P_t），突き上げ津波荷重（P_t）又は浸水津波荷重（P_h）と余震荷重（K_{Sd}）の組合せを考慮する場合（以下「重畳時」という。）に分けて強度計算を行う。

最後に，施設の構造等を踏まえ，風荷重（P_k），積雪荷重（P_s）の組合せを考慮する。

風荷重（P_k）については，屋外の直接風を受ける場所に設置している施設のうち，風荷重（P_k）の影響が津波荷重（P_t，P_h）と比べて相対的に無視できないような構造，形状及び仕様の施設については組合せを考慮する。風荷重（P_k）の影響を受ける可能性のある施設については，各強度計算書において風荷重（P_k）の影響を確認する。

積雪荷重（P_s）については，屋外の積雪が生じる場所に設置している施設について，組合せを考慮する。ただし，自重（D）に対して積雪荷重（P_s）の割合が無視できる施設については，各強度計算書において積雪荷重（P_s）の影響が無視できることを確認したうえで，組合せ計算を実施しない。

以上を踏まえ，具体的に施設ごとの強度計算書において考慮すべき荷重の組合せを設定する。荷重の組合せの設定フローを図 4.1－1 に，フローに基づき設定した施設ごとの荷重の組合せ結果を表 4.1－1 に示す。



(注 1)構造物については固定荷重（G）を考慮し，機器類については自重（D）を考慮する。さらに，上載物の荷重を負担する，又は，影響を受ける構造物である場合は，積載荷重（P）を組み合わせる。

(注 2)津波荷重は，波圧として考慮しない。

(注 3)設置位置，障害物等により，漂流物が衝突するおそれがない。

(注 4)・風による受圧面積が相対的に小さい
・コンクリート構造物等の自重が大きい施設
・壁等に囲われた場所に設置されており，直接風を受けない
・常時海中にある構造物

(注 5)・施設の上に蓋等があり，施設に積雪しない（図 A 参照）
・壁面に設置
・常時海中にある構造物及び津波時に冠水する構造物
・施設上部の受圧面積が小さい（図 B 参照）

上記については，計算書ごとに影響を確認し，影響があるものについて組合せを考慮する。

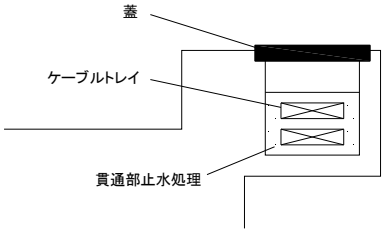


図 A　蓋等により積雪しない例

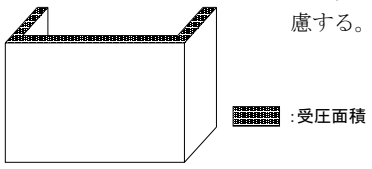


図 B　上部の受圧面積が小さい場合の例

図 4.1－1　強度計算における荷重の組合せの設定フロー

表 4.1－1　津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ（1／5）

強度計算の対象施設		事象	荷重						
			自重（D）又は固定荷重（G）	積載荷重（P）	余震荷重（S_d又はK_{Sd}）	遡上津波荷重（P_t），突き上げ津波荷重（P_t）又は浸水津波荷重（P_h）	衝突荷重（P_c）	風荷重（P_k）	積雪荷重（P_s）
防潮堤	防潮堤（鋼製防護壁）	津波時	○	○	－	○ 遡上津波（P_t）	○	－	○
		重畳時	○	○	○	○ 遡上津波（P_t）	－	－	○
	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）	津波時	○	○	－	○ 遡上津波（P_t）	○	－	○
		重畳時	○	○	○	○ 遡上津波（P_t）	－	－	○
	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））	津波時	○	○	－	○ 遡上津波（P_t） 突き上げ津波荷重（P_t）	○	－	○
		重畳時	○	○	○	○ 遡上津波（P_t） 突き上げ津波荷重（P_t）	－	－	○
	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	津波時	○	－	－	○ 遡上津波（P_t）	○	－	○
		重畳時	○	－	○	○ 遡上津波（P_t）	－	－	○

（○：考慮する荷重を示す。）

表 4.1－1　津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ（2／5）

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重（D）又は固定荷重（G）	積載荷重（P）	余震荷重（S_d又はK_{Sd}）	遡上津波荷重（P_t），突き上げ津波荷重（P_t）又は浸水津波荷重（P_h）	衝突荷重（P_c）	風荷重（P_k）	積雪荷重（P_s）
防潮扉	津波時	○	○	－	○ 遡上津波（P_t）	○	－	○
	重畳時	○	○	○	○ 遡上津波（P_t）	－	－	○
放水路ゲート	重畳時	○	－	○	○ 突き上げ津波（P_t）	－	－	○
構内排水路逆流防止設備	重畳時	○	－	○	○ 遡上津波（P_t）	－	－	－
貯留堰	津波時	○	－	－	○ 遡上津波（P_t）	○	－	－
	重畳時	○	－	○	○ 遡上津波（P_t）	－	－	－

（○：考慮する荷重を示す。）

表 4.1－1　津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ（3／5）

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重（D）又は固定荷重（G）	積載荷重（P）	余震荷重（S_d又はK_{Sd}）	遡上津波荷重（P_t），突き上げ津波荷重（P_t）又は浸水津波荷重（P_h）	衝突荷重（P_c）	風荷重（P_k）	積雪荷重（P_s）
取水路点検用開口部浸水防止蓋	重畳時	○	－	○	○ 突き上げ津波（P_t）	－	－	○
海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁	重畳時	○	－	○	○ 突き上げ津波（P_t）	－	－	－
取水ピット空気抜き配管逆止弁	重畳時	○	－	○	○ 突き上げ津波（P_t）	－	－	－
海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	－
ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋	重畳時	○	－	○	○ 突き上げ津波（P_t）	－	－	－
緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋	重畳時	○	－	○	○ 突き上げ津波（P_t）	－	－	－
緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	○
緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	○
緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁	重畳時	○	－	○	○ 突き上げ津波（P_t）	－	－	－
緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁	重畳時	○	－	○	○ 突き上げ津波（P_t）	－	－	－

（○：考慮する荷重を示す。）

表 4.1－1　津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ（4／5）

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重（D）又は固定荷重（G）	積載荷重（P）	余震荷重（S_d又はK_{Sd}）	遡上津波荷重（P_t），突き上げ津波荷重（P_t）又は浸水津波荷重（P_h）	衝突荷重（P_c）	風荷重（P_k）	積雪荷重（P_s）
放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋	重畳時	○	－	○	○ 突き上げ津波（P_t）	－	－	○
格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	○
常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	○
常設低圧代替注水系可搬型ポンプ用水密ハッチ	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	○
常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	－
原子炉建屋原子炉棟水密扉	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	－
原子炉建屋付属棟東側水密扉	津波時	○			○ 浸水津波（P_h）	○	○	○
	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	○	○
原子炉建屋付属棟西側水密扉	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	－
原子炉建屋付属棟南側水密扉	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	－

（○：考慮する荷重を示す。）

表 4.1－1　津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ（5／5）

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重（D）又は固定荷重（G）	積載荷重（P）	余震荷重（S_d又はK_{Sd}）	遡上津波荷重（P_t），突き上げ津波荷重（P_t）又は浸水津波荷重（P_h）	衝突荷重（P_c）	風荷重（P_k）	積雪荷重（P_s）
原子炉建屋付属棟北側水密扉 1	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	－
原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	重畳時	○	－	○	○ 浸水津波（P_h）	－	－	－
取水ピット水位計	重畳時	○	－	○	○ 突き上げ津波（P_t）	－	－	－
潮位計	重畳時	○	－	○	○ 遡上津波（P_t）	－	－	－

（○：考慮する荷重を示す。）

4.2　許容限界

許容限界は，添付書類「Ⅴ-1-1-2-2-5　津波防護に関する施設の設計方針」にて設定している。津波荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえて，評価部位ごとに設定する。

「4.1　荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めて施設ごとの許容限界を表 4.2－1 に示す。

各施設の許容限界の詳細は，各計算書で評価部位の応力や変形の状態を考慮し，評価部位ごとに許容限界を設定する。

4.2.1　施設ごとの許容限界

(1)　防潮堤

a.　鋼製防護壁

(a)　鋼製防護壁，鋼製防護壁アンカー

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月），「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）及び「鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(b)　基礎地盤

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，十分な支持機能を有する岩盤に設置する設計とするために，鋼製防護壁を支持する基礎岩盤の極限支持力に基づき，添付書類「Ⅴ-2-1-3　地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している値とする。

(c)　地中連続壁基礎

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鉄筋コンクリートが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」及び「道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）」（（社）日本道路協会，平成22年3月）に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定

する。

(d) 止水ジョイント部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

(d) 鋼製アンカー

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼製アンカーが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(e) 鋼製防護部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに，余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼製防護部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

b. 鉄筋コンクリート防潮壁

(a) 鉄筋コンクリート防潮壁，地中連続壁基礎

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鉄筋コンクリートが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容

応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(b) 基礎地盤

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，十分な支持機能を有する岩盤に設置する設計とするために，鉄筋コンクリート防潮壁を支持する基礎岩盤の極限支持力に基づき，添付書類「Ⅴ-2-1-3　地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している値とする。

(c) 止水ジョイント部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

(d) 鋼製アンカー

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼製アンカーが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(e) 鋼製防護部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼製防護部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

c. 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）

(a) 鉄筋コンクリート

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鉄筋コンクリートが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(b) 基礎地盤

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，堅固な支持地盤に設置する設計とするために，鉄筋コンクリート防潮壁を支持する基礎岩盤の極限支持力に基づき，添付書類「Ⅴ-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している値とする。

d. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

(a) 鋼管杭

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼管杭が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(b) 鉄筋コンクリート

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鉄筋コンクリートが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(c)　地盤高さの嵩上げ部（改良体）及び表層改良体

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，地盤として滑動しない抵抗性を保持する設計とするため，地盤高さの嵩上げ部底面が滑動しないこと及び受働崩壊角にすべりが発生しないことを確認し，洗掘防止対策やボイリング対策としての機能を保持するため，表層改良体にせん断破壊が生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」及び「耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成 25 年 6 月）」を考慮し，せん断強度に基づき設定する。

(d)　止水ジョイント部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

(e)　鋼製アンカー

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼製アンカーが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(f)　鋼製防護部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼製防護部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(g)　シートパイル

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並び

に余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，ボイリング対策としての機能を保持するため，シートパイルにせん断破壊が生じないことを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「港湾の施設の技術上の基準・同解説（（社）日本港湾協会，平成元年２月）」に示されるせん断強度に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容せん断応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下となるせん断強度の範囲で短期許容せん断応力度として設定する。

(2) 防潮扉

a. 扉体

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づきとしている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，

b. 戸当り

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，戸当りを構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

c. 鋼管杭

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼管杭が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

d. 鉄筋コンクリート

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鉄筋コンクリートが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「コンクリー

ト標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

e. 基礎地盤

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，堅固な支持地盤に設置する設計とするために，鉄筋コンクリート防潮壁を支持する基礎岩盤の極限支持力に基づき，Ⅴ-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している値とする。

f. 止水ジョイント部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

g. 鋼製アンカー

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼製アンカーが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

h. 鋼製防護部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震，積載物，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼製防護部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(3) 放水路ゲート

a. 扉体

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

b. 戸当り

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，戸当りを構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

c. 鉄筋コンクリート

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鉄筋コンクリートが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(4) 構内排水路逆流防止設備

a. 扉体

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(5) 貯留堰

a. 鋼管矢板

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼管矢板が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度として設定する。

b. 止水ゴム

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し，境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置する止水ゴムが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

c. 止水ゴム取付部鋼材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，止水ゴム取付部鋼材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度として設定する。

d. 防護材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，防護材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度として設定する。

e. 防護材取付部鋼材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，防護材取付部鋼材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度として設定する。

(6) 取水路点検用開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」

に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓ）を許容限界として設定する。

b.　基礎ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，基礎ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(7)　海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

a.　弁本体

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，弁本体（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓ）を許容限界として設定する。

b.　フロートガイド

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，フロートガイド（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓ）を許容限界として設定する。

c.　基礎ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，基礎ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(8)　取水ピット空気抜き配管逆止弁

a.　弁本体及び弁蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，弁本体及び弁蓋（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_{A}$Ｓ）を許容限界として設定する。

b. フロートガイド

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，フロートガイド（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

c. ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(9) 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

b. 基礎ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，基礎ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(10) ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

b. 固定ボルト及びヒンジ

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，固定ボルト及びヒンジ（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(11) 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，固定ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(12) 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，固定ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年６月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(13) 緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，固定ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年６月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(14) 緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

a. 弁本体

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，弁本体（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

b. フロートガイド

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，フ

ロートガイド（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

c.　基礎ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，基礎ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(15) 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁

a.　弁本体

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，弁本体（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

b.　フロートガイド

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，フロートガイド（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

c.　基礎ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，基礎ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(16) 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋

a.　浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設

技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25 年 6 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，固定ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で短期許容応力度として設定する。

(17) 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ

a. 上蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(18) 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ

a. 上蓋

地地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）力を許容限界として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(19) 常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ

a. 上蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(20) 常設代替電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉

a. 扉板及び芯材

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

b. カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，カンヌキ部を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

(21) 原子炉建屋原子炉棟水密扉

a. 扉板及び芯材

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

b. カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，カンヌキ部を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

(22) 原子炉建屋付属棟東側水密扉

a. 扉板及び芯材

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震，風及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

b. カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震，風及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，カンヌキ部を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

(23) 原子炉建屋付属棟西側水密扉

a. 扉板及び芯材

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

b. カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，カンヌキ部を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

(24) 原子炉建屋付属棟南側水密扉

a. 扉板及び芯材

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

b. カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，カンヌキ部を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

(25) 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1

a. 扉板及び芯材

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

b. カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，カンヌキ部を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

(26) 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2

a. 扉板及び芯材

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

b. カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，カンヌキ部を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

(27) 防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置

a. モルタル

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するモルタルが，概ね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づく計算式により算出される許容付着荷重を許容荷重として設定する。

b. シール材

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材が，有意な漏えいが生じないように津波荷重から計算により求めた圧力が水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

(28) 海水ポンプ室貫通部止水処置

a. モルタル

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するモルタルが，概ね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づく計算式により算出される許容付着荷重を許容荷重として設定する。

b. シール材

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材が，有意な漏えいが生じないように津波荷重から計算により求めた圧力が水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

c. ブーツ

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するブーツが，有意な漏えいが生じないように津波荷重から計算により求めた圧力が水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

(28) 海水ポンプ室貫通部止水処置

a. モルタル

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するモルタルが，概ね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づく計算式により算出される許容付着荷重を許容荷重として設定する。

b. シール材

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材が，有意な漏えいが生じないように津波荷重から計算により求めた圧力が水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

c. ブーツ

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するブーツが，有意な漏えいが生じないように津波荷重から計算により求めた圧力が水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

(29) 原子炉建屋境界貫通部止水処置

a. モルタル

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するモルタルが，概ね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づく計算式により算出される許容付着荷重を許容荷重として設定する。

b. シール材

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材が，有意な漏えいが生じないように津波荷重から計算により求めた圧力が水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

c. ブーツ

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するブーツが，有意な漏えいが生じないように津波荷重から計算により求めた圧力が水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

(30) 常設代替高圧電源装置カルバート（立坑部）貫通部止水処置

a. モルタル

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するモルタルが，概ね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づく計算式により算出される許容付着荷重を許容荷重として設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（1／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鋼製防護壁）	$G+P+P_t+P_c+P_s$ $G+P+P_t+K_{Sd}+P_s$	鋼製防護壁	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）及び「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成24年3月）に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		鋼製防護壁アンカー	引張，せん断，引抜き	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）及び「鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（2／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鋼製防護壁）	$G+P+P_t+P_c+P_s$ $G+P+P_t+K_{Sd}+P_s$	地中連続壁基礎	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（（社）土木学会　2002 年制定），「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」及び「道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）」（（社）日本道路協会，平成 22 年 3 月）に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		止水ジョイント部材	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		鋼製アンカー	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」に基づき設定する。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（3／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鋼製防護壁）	$G+P+P_t+P_c+P_s$ $G+P+P_t+K_{Sd}+P_s$	鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定する。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（4／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）	$G+P+P_t+P_c+P_s$ $G+P+P_t+K_{Sd}+P_s$	地中連続壁基礎	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		鉄筋コンクリート防潮壁	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		止水ジョイント部材	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（5／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）	$G+P+P_t+P_c+P_s$ $G+P+P_t+K_{Sd}+P_s$	鋼製アンカー	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」に基づき設定する。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定する。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（6／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））	G＋P＋P_t＋P_c＋P_s G＋P＋P_t＋K_{Sd}＋P_s	鉄筋コンクリート	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		基礎地盤	接地圧	支持機能を喪失する状態	極限支持力とする。＊
		止水ジョイント部材	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

注記　＊：妥当な安全余裕を考慮する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（7／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	$G+P_t+P_c+P_s$ $G+P_t+K_{Sd}+P_s$	鋼管杭	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づく短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		鉄筋コンクリート	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（8／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	$G+P_t+P_c+P_s$ $G+P_t+K_{Sd}+P_s$	地盤高さの嵩上げ部（改良体）及び表層改良体	せん断	地盤高さの嵩上げ部の底面が滑動に至る状態，上部構造背面の地盤がすべりに至る状態，表層改良体がせん断破壊に至る状態	「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」及び「耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成 25 年 6 月）」を考慮し，せん断強度に基づき設定する。
		止水ジョイント部材	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		鋼製アンカー	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」に基づき設定する。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（9／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	$G+P_t+P_c+P_s$ $G+P_t+K_{Sd}+P_s$	鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定する。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		シートパイル	せん断	部材がせん断破壊に至る状態	「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（（社）日本港湾協会，平成元年 2 月）に基づき，せん断強度を設定する。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下となるせん断強度の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（10／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮扉	$G+P_t+P_c+P_s$ $G+P_t+K_{Sd}+P_s$	扉体（スキンプレート）	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		扉体（主桁，縦補助桁，端桁）	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（11／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮扉	$G+P_t+P_c+P_s$ $G+P_t+K_{Sd}+P_s$	扉体（支圧板）	支圧	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		戸当り（鋼材）	曲げ，圧縮	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（12／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮扉	$G+P_t+P_c+P_s$ $G+P_t+K_{Sd}+P_s$	戸当り（コンクリート）	支圧，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		防潮壁（鋼管杭）	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づく短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（13／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮扉	$G+P_t+P_c+P_s$ $G+P_t+K_{Sd}+P_s$	防潮壁（鉄筋コンクリート）	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		防潮壁（基礎地盤）	接地圧	支持機能を喪失する状態	極限支持力とする。＊
		防潮壁（止水ジョイント部材）	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		防潮壁（鋼製アンカー）	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」に基づき設定する。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

注記　＊：妥当な安全余裕を考慮する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（14／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮扉	$G+P_t+P_c+P_s$ $G+P_t+K_{Sd}+P_s$	防潮壁（鋼製防護部材）	曲げ，引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定する。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（15／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
放水路ゲート	$G+P_t+K_{Sd}+P_s$	扉体（スキンプレート）	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		扉体（主桁，縦補助桁，端桁）	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（16／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
放水路ゲート	$G+P_t+K_{Sd}+P_s$	扉体（支圧板）	支圧	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		戸当り（鋼材）	曲げ，圧縮	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（17／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
放水路ゲート	$G+P_t+K_{Sd}+P_s$	戸当り（コンクリート）	支圧，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（18／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
構内排水路逆流防止設備	$G+P_t+K_{Sd}$	扉体（スキンプレート）	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。。
		扉体（主桁，補助桁）	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（19／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
貯留堰	$G+P_t+P_c$ $G+K_{Sd}+P_t$	鋼管矢板	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		止水ゴム	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		止水ゴム，取付部鋼材	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（20／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
貯留堰	$G+P_t+P_c$ $G+K_{Sd}+P_t$	防護材	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		防護材，取付部鋼材	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（21／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
取水路点検用開口部浸水防止蓋	$D+P_t+S_d+P_s$	浸水防止蓋	曲げ*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$Ⅲ_AS$）以下とする。
		基礎ボルト	引張*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$Ⅲ_AS$）以下とする。
海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋	$D+P_h+S_d$	浸水防止蓋	曲げ*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$Ⅲ_AS$）以下とする。
		基礎ボルト	引張*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$Ⅲ_AS$）以下とする。

＊1　応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（22／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋	Ｄ＋Ｐ$_t$＋Ｓ$_d$	浸水防止蓋	曲げ*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		固定ボルト，ヒンジ	引張*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

＊1　応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（23／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋	$D+P_t+S_d$	浸水防止蓋	曲げ*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		固定ボルト	引張*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

＊1　応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（24／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
放水路ゲート 点検用開口部 浸水防止蓋	$D+P_t+S_d+P_s$	浸水防止蓋	曲げ*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		固定ボルト	引張*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

＊1　応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（25／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋，緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋	$D+P_h+S_d+P_s$	浸水防止蓋	曲げ*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。
		固定ボルト	引張*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は十分な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定し，敷地に遡上する津波に対する許容限界は，おおむね弾性状態にとどまるように，降伏点又は耐力以下の範囲で設定する。

＊1　応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（26／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ，常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ，常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ	$D+P_h+S_d+P_s$	上蓋	曲げ*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$Ⅲ_A$Ｓ）以下とする。
		固定ボルト	引張*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$Ⅲ_A$Ｓ）以下とする。

＊1　応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（27／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁，緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁，緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁	$D+P_t+S_d$	弁本体，フロートガイド	圧縮，曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態III_AＳ）以下とする。
		基礎ボルト	引張*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態III_AＳ）以下とする。

＊1　応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（28／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
取水ピット空気抜き配管逆止弁	Ｄ＋Ｐ$_t$＋Ｓ$_d$	弁本体	膜応力	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓ）以下とする。
		弁蓋	曲げモーメント	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓ）以下とする。
		フロートガイド	圧縮，曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓ）以下とする。
		ボルト	引張*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）」に準じて供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓ）以下とする。

＊1　応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（29／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟東側水密扉，原子炉建屋付属棟西側水密扉，原子炉建屋付属棟南側水密扉，原子炉建屋付属棟北側水密扉 1，原子炉建屋付属棟北側水密扉 2	$D+P_h+S_d$	扉板	曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて，短期許容応力度とする。
		芯材，カンヌキ受けピン	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて，短期許容応力度とする。
		カンヌキ	組合せ*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて，短期許容応力度とする。
		カンヌキ受けボルト	引張	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて，短期許容応力度とする。

＊1　曲げ応力度とせん断応力度の組合せ

表 4.2－1　施設ごとの許容限界（30／30）

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置	Ｄ＋Ｐ$_{t}$＋Ｓ$_{d}$	モルタル	せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」にも続いて算出される許容付着荷重以下とする。
		シール材	せん断，圧縮	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
海水ポンプ室貫通部止水処置，原子炉建屋境界貫通部止水処置	Ｄ＋Ｐ$_{h}$＋Ｓ$_{d}$	モルタル	せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」にも続いて算出される許容付着荷重以下とする。
		シール材	せん断，圧縮	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
		ブーツ	引張	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置	Ｄ＋Ｐ$_{h}$＋Ｓ$_{d}$	モルタル	せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」にも続いて算出される許容付着荷重以下とする。

5.　強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・ＦＥＭ等を用いた解析法

・定式化された評価式を用いた解析法

余震荷重を基に設定した入力地震動に対する評価手法は，以下に示す解析法により，ＪＥＡＧ４６０１に基づき実施することを基本とする。

・時刻歴応答解析

・ＦＥＭ等を用いた解析法

・定式化された評価式を用いた解析法

5.1　土木構造物に関する評価式

5.1.1　防潮堤

(1)　評価方針

防護壁の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴の違いから，鋼製防護壁，鉄筋コンクリート防潮壁，鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）及び鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁部に分けて設計を行う。

b.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

c.　荷重及び荷重の組合せは，津波時及び重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。なお，基準地震動時に防護壁が塑性領域にとどまる場合や残留変形が残る場合には，応力・変形を引き継いで強度評価を実施する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.1－1～表 5.1－4 に示す。

表 5.1－1　評価部位及び評価内容（鋼製防護壁）

評価部位	評価内容
鋼製防護壁	曲げ，せん断
基礎地盤	接地圧
鋼製防護壁アンカー	引張，せん断，引抜き
地中連続壁基礎	曲げ，せん断
止水ジョイント部材	変形
鋼製アンカー	引張，せん断
鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断

表 5.1－2　評価部位及び評価内容（鉄筋コンクリート防潮壁）

評価部位	評価内容
鉄筋コンクリート防潮壁	曲げ，せん断
基礎地盤	接地圧
地中連続壁基礎	曲げ，せん断
止水ジョイント部材	変形
鋼製アンカー	引張，せん断
鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断

表 5.1－3　評価部位及び評価内容（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））

評価部位	評価内容
鉄筋コンクリート	曲げ，せん断
基礎地盤	接地圧
止水ジョイント部材	変形

表 5.1－4　評価部位及び評価内容（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）

評価部位	評価内容
鋼管杭	曲げ，せん断
鉄筋コンクリート	曲げ，せん断
地盤高さの嵩上げ部（改良体）及び表層改良体	せん断
止水ジョイント部材	変形
鋼製アンカー	引張，せん断
鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断
シートパイル	せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-1　防潮堤及び防潮扉の強度計算書」に示す。

5.1.2　防潮扉

(1)　評価方針

防潮扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，津波時及び重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。なお，基準地震動時に貯留堰が塑性領域にとどまる場合や残留変形が残る場合には，

応力・変形を引き継いで強度評価を実施する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.1－5 に示す。

表 5.1－5 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉体（板材）	曲げ
扉体（補強材）	曲げ，せん断
扉体（支圧板）	支圧
戸当り（鋼材）	曲げ，圧縮
戸当り（鉄筋コンクリート）	支圧，せん断
防潮壁（鋼管杭）	曲げ，せん断
防潮壁（鉄筋コンクリート）	曲げ，せん断
防潮壁（基礎地盤）	せん断
防潮壁（止水ジョイント部材）	変形
防潮壁（鋼製アンカー）	引張，せん断
防潮壁（鋼製防護部材）	曲げ，引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-1 防潮堤及び防潮扉の強度計算書」に示す。

5.1.3 放水路ゲート

(1) 評価方針

放水路ゲートの評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.1－6 に示す。

表 5.1－6 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉体（板材）	曲げ
扉体（補強材）	曲げ，せん断
扉体（支圧板）	支圧
戸当り（鋼材）	曲げ，圧縮
戸当り（鉄筋コンクリート）	支圧，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-2 放水路ゲートの強度計算書」に示す。

5.1.4 構内排水路逆流防止設備

(1) 評価方針

放水路ゲートの評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.1－7 に示す。

表 5.1－7 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉体（板材）	曲げ
扉体（補強材）	曲げ，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-3 構内排水路逆流防止設備の強度計算書」に示す。

5.1.5 貯留堰

(1) 評価方針

貯留堰の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，津波時及び重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。なお，基準地震動時に貯留堰が塑性領域にとどまる場合や残留変形が残る場合には，応力・変形を引き継いで強度評価を実施する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.1－8 に示す。

表 5.1－8 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
鋼管矢板	曲げ，せん断
止水ゴム	変形
止水ゴム取付鋼材	曲げ，せん断
防護材	曲げ，せん断
防護材取付鋼材	曲げ，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-9 貯留堰の強度計算書」に示す。

5.2 機器・配管系に関する評価式

以下に機器・配管系に関する各強度計算書で用いる強度評価の計算方法を示す。

5.2.1 取水路点検用開口部浸水防止蓋

(1) 評価方針

取水路点検用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－1 に示す。

表 5.2－1 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材	曲げ，せん断
基礎ボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-4-1 取水路点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.2 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

(1) 評価方針

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－2 に示す。

表 5.2－2 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
基礎ボルト以外	圧縮，曲げ
基礎ボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-5-1 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度計算書」に示す。

5.2.3 取水ピット空気抜き配管逆止弁

(1) 評価方針

取水ピット空気抜き配管逆止弁の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－3 に示す。

表 5.2－3 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
弁本体	膜応力
弁蓋	曲げモーメント
フロートガイド	圧縮，曲げ
ボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-5-2 取水ピット空気抜き配管逆止弁の強度計算書」に示す。

5.2.4 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋

(1) 評価方針

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－4 に示す。

表 5.2－4 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材	曲げ，せん断
基礎ボルト	引張，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-4-10　海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.5　ＳＡ用海水ピット点検用開口部浸水防止蓋

(1)　評価方針

ＳＡ用海水ピット点検用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－5 に示す。

表 5.2－5　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材及び補強材	曲げ，せん断
固定ボルト及びヒンジ	引張，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-4-3　ＳＡ用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.6　緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋

(1)　評価方針

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－6 に示す。

表 5.2－6　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材及び補強材	曲げ，せん断
固定ボルト	引張，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-4-4　緊急用海水ポン

プピット点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.7　緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋

(1)　評価方針

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－7 に示す。

表 5.2－7　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材及び補強材	曲げ，せん断
固定ボルト	引張，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-4-5　緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.8　緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋

(1)　評価方針

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－8 に示す。

表 5.2－8　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材及び補強材	曲げ，せん断
固定ボルト	引張，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-4-6　緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.9　緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

(1)　評価方針

緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－9 に示す。

表 5.2－9　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
基礎ボルト以外	圧縮，曲げ
基礎ボルト	引張，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-5-3　緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度計算書」に示す。

5.2.10 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁

(1)　評価方針

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－10 に示す。

表 5.2－10　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
基礎ボルト以外	圧縮，曲げ
基礎ボルト	引張，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-5-4　緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の強度計算書」に示す。

5.2.11 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋

(1) 評価方針

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－11 に示す。

表 5.2－11 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材及び補強材	曲げ，せん断
固定ボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-4-2 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.12 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ

(1) 評価方針

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－12 に示す。

表 5.2－12 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材	曲げ，せん断
固定ボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-4-7 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの強度計算書」に示す。

5.2.13 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ

(1) 評価方針

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチの評価を行う場合，以下の条件に従うもの

とする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－13 に示す。

表 5.2－13 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材	曲げ，せん断
固定ボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-4-8 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチの強度計算書」に示す。

5.2.14 常設低圧代替注水系可搬型ポンプ用水密ハッチ

(1) 評価方針

常設低圧代替注水系格納槽点検可搬型ポンプ用水密ハッチの評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－14 に示す。

表 5.2－14 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材	曲げ，せん断
固定ボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-4-9 常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチの強度計算書」に示す。

5.2.15 常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉

(1) 評価方針

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定す

る。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－15 に示す。

表 5.2－15 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材（扉板）	曲げ
カンヌキ等の鋼材	曲げ，せん断
ボルト	引張

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-7 水密扉の強度計算書」に示す。

5.2.16 原子炉建屋原子炉棟水密扉

(1) 評価方針

原子炉建屋原子炉棟水密扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－16 に示す。

表 5.2－16 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材（扉板）	曲げ
カンヌキ等の鋼材	曲げ，せん断
ボルト	引張

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-7 水密扉の強度計算書」に示す。

5.2.17 原子炉建屋付属棟東側水密扉

(1) 評価方針

原子炉建屋付属棟東側水密扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，津波時及び重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定す

る。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－17 に示す。

表 5.2－17　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材（扉板）	曲げ
カンヌキ等の鋼材	曲げ，せん断
ボルト	引張

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-7　水密扉の強度計算書」に示す。

5.2.18 原子炉建屋付属棟西側水密扉

(1) 評価方針

原子炉建屋付属棟西側水密扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－18 に示す。

表 5.2－18　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材（扉板）	曲げ
カンヌキ等の鋼材	曲げ，せん断
ボルト	引張

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-7　水密扉の強度計算書」に示す。

5.2.19 原子炉建屋付属棟南側水密扉

(1) 評価方針

原子炉建屋付属棟南側水密扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－19 に示す。

表 5.2－19 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材（扉板）	曲げ
カンヌキ等の鋼材	曲げ，せん断
ボルト	引張

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-7 水密扉の強度計算書」に示す。

5.2.20 原子炉建屋付属棟北側水密扉 1

(1) 評価方針

原子炉建屋付属棟北側水密扉 1 の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－20 に示す。

表 5.2－20 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材（扉板）	曲げ
カンヌキ等の鋼材	曲げ，せん断
ボルト	引張

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-7 水密扉の強度計算書」に示す。

5.2.21 原子炉建屋付属棟北側水密扉 2

(1) 評価方針

原子炉建屋付属棟北側水密扉 2 の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－21 に示す。

表 5.2－21　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材（扉板）	曲げ
カンヌキ等の鋼材	曲げ，せん断
ボルト	引張

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-7　水密扉の強度計算書」に示す。

5.2.22 防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置

(1)　評価方針

防潮堤及び防潮扉下部貫通部止水処置の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－22 に示す。

表 5.2－22　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
モルタル	せん断
シール材	せん断，圧縮

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-6　貫通部止水処置の強度計算書」に示す。

5.2.23 海水ポンプ室貫通部止水処置

(1)　評価方針

海水ポンプ室貫通部止水処置の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－23 に示す。

表 5.2－23　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
モルタル	せん断
シール材	せん断，圧縮
ブーツ	引張

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-6　貫通部止水処置の強度計算書」に示す。

5.2.24 原子炉建屋境界貫通部止水処置

(1)　評価方針

原子炉建屋境界貫通部止水処置の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－24 に示す。

表 5.2－24　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
モルタル	せん断
シール材	せん断，圧縮
ブーツ	引張

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-6　貫通部止水処置の強度計算書」に示す。

5.2.25 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置

(1)　評価方針

常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）貫通部止水処置の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－25 に示す。

表 5.2－25　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
モルタル	せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-2-6　貫通部止水処置の強度計算書」に示す。

6. 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）
- 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）
- 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会，2005 年）
- 原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（（社）日本電気協会）
- 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009（（社）日本電気協会）
- 建築基礎構造設計指針（社）日本建築学会，2001 年）
- 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）
- 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- 耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成 25 年）
- 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）
- トンネル標準示方書〔[共通編]・同解説／[開削工法編]・同解説（（社）土木学会，2016 年制定）
- 津波漂流物対策施設設計ガイドライン（案）（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月））
- 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会，2005 年）
- 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）
- 鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）
- 道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）（（社）日本道路協会，平成 22 年 3 月）
- 原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　JEAG4601・補－1984（（社）日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1991　追補版（（社）日本電気協会）
- 日本工業規格（JIS）
- ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）
- 発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005／2007（（社）日本機械学会）

Ⅴ-3-別添 3-2-1-1　防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書

防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書

1. 防潮堤（鋼製防護壁）の基礎及び上部構造に関する強度計算書
2. 防潮堤（鋼製防護壁）の止水機構に関する強度計算書

Ⅴ-3-別添 3-2-1-1　防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書

1.　防潮堤（鋼製防護壁）の基礎及び上部構造に関する強度計算書

目　次

1.　概要 2
2.　基本方針 3
2.1　位置 3
2.2　構造概要 4
2.3　評価方針 16
2.4　適用基準 20
3.　強度評価方法 21
3.1　記号の定義 21
3.2　評価対象断面及び部位 23
3.3　荷重及び荷重の組合せ 26
3.4　許容限界 29
3.5　評価方法 34
4.　評価条件 64
5.　評価結果 74
5.1　津波時の強度評価結果 74
5.2　重畳時の強度評価結果 86

1. 概要

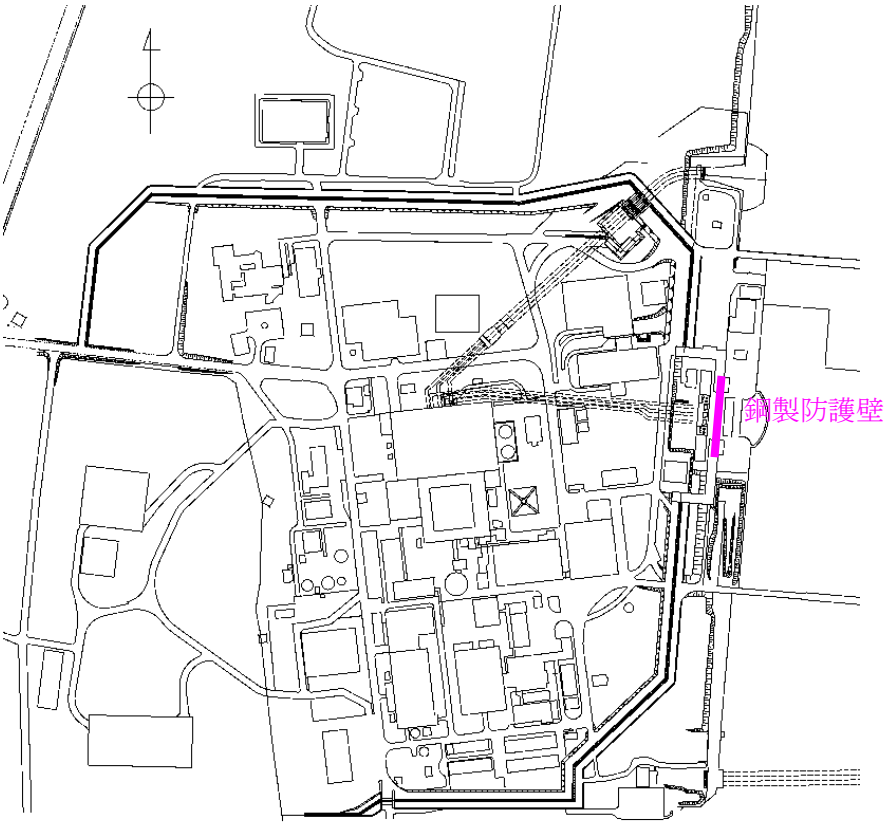
本資料は，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-1　津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，鋼製防護壁が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持すること，十分な支持性能を有する地盤に設置していること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留まることを確認するものである。

2. 基本方針

鋼製防護壁の検討対象断面位置は，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-1　津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す「3.2　機能維持の方針」を踏まえて選定する。鋼製防護壁の「2.1　位置」及び「2.2　構造概要」を示す。

2.1 位置

鋼製防護壁の位置図を第 2-1 図に示す。



第 2-1 図　鋼製防護壁位置図

2.2　構造概要

鋼製防護壁は，幅約 81 m，高さ約 17 m，奥行き約 5 m の鋼製の構造物であり，幅約 50 m の取水構造物を横断し，取水構造物の側方の地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。

鋼製防護壁の検討対象位置平面図を第 2-2 図に，構造概要図を第 2-3 図に，構造図を第 2-4 図に示す。

鋼製防護壁は鉛直及び水平方向に配置された鋼板で構成される鋼殻構造であり，施工性を考慮して分割したブロックの集合体として全体を構成する。各ブロックは添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により結合する。

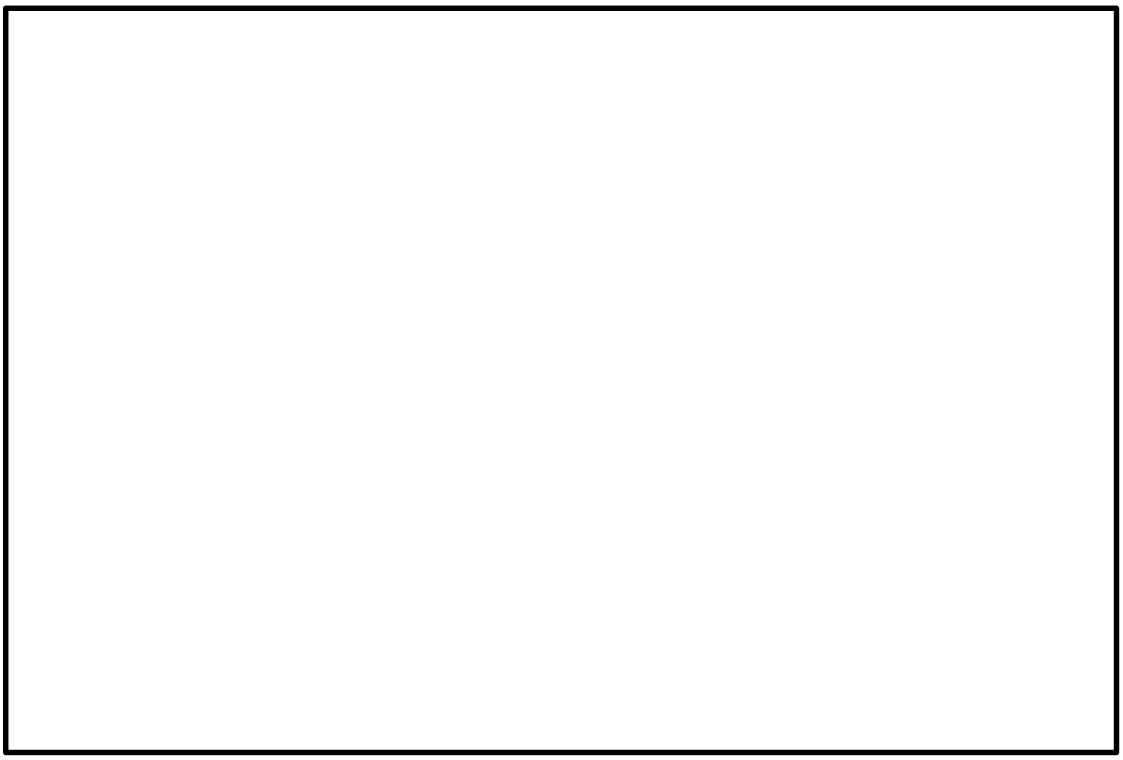
基礎部は，第 2-5 図に示すとおり，南北両側に配置した地中連続壁基礎にて構成され，津波荷重等を受ける鋼製防護壁を支持する。地中連続壁基礎の内側には中実鉄筋コンクリートを充填し，地中連続壁基礎と一体化して両者で発生断面力を負担する。

第 2-6 図に鋼製防護壁の構造概要を示す。鋼製防護壁は，下端標高 T.P.＋3.20 m から天端標高 T.P.＋20.0 m までを頂部鋼板を含めて 10 層の水平隔壁に分割した構造とし，法線，法線直交方向の鉛直隔壁並びに外面鋼板とで構成される。各層は，第 2-5 図に示すブロックが複数結合された構造である。鋼材ブロック継目部の添接板の間に止水性の維持のためシール材を設置する。

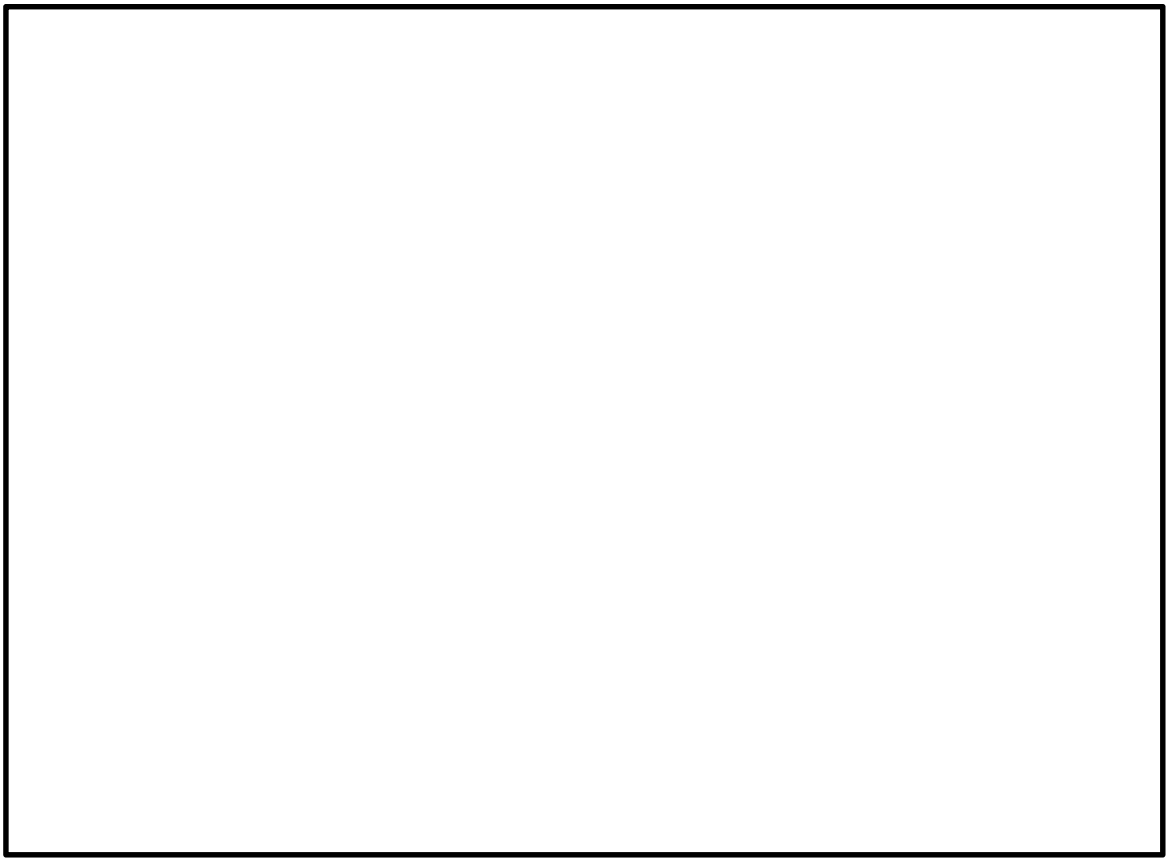
鋼製防護壁と地中連続壁基礎とは鋼製防護壁アンカーによって剛結される。鋼製防護壁の基礎直上は第 2-7 図に示すとおり，鋼殻内に必要な高さまで中詰め鉄筋コンクリートを打設して鋼殻と一体化し，下部構造への確実な荷重伝達を図る。

鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部イメージ図を第 2-8 図に，結合部構造図を第 2-9 図に示す。また，各部材の設計上の役割を第 2-1 表に示す。

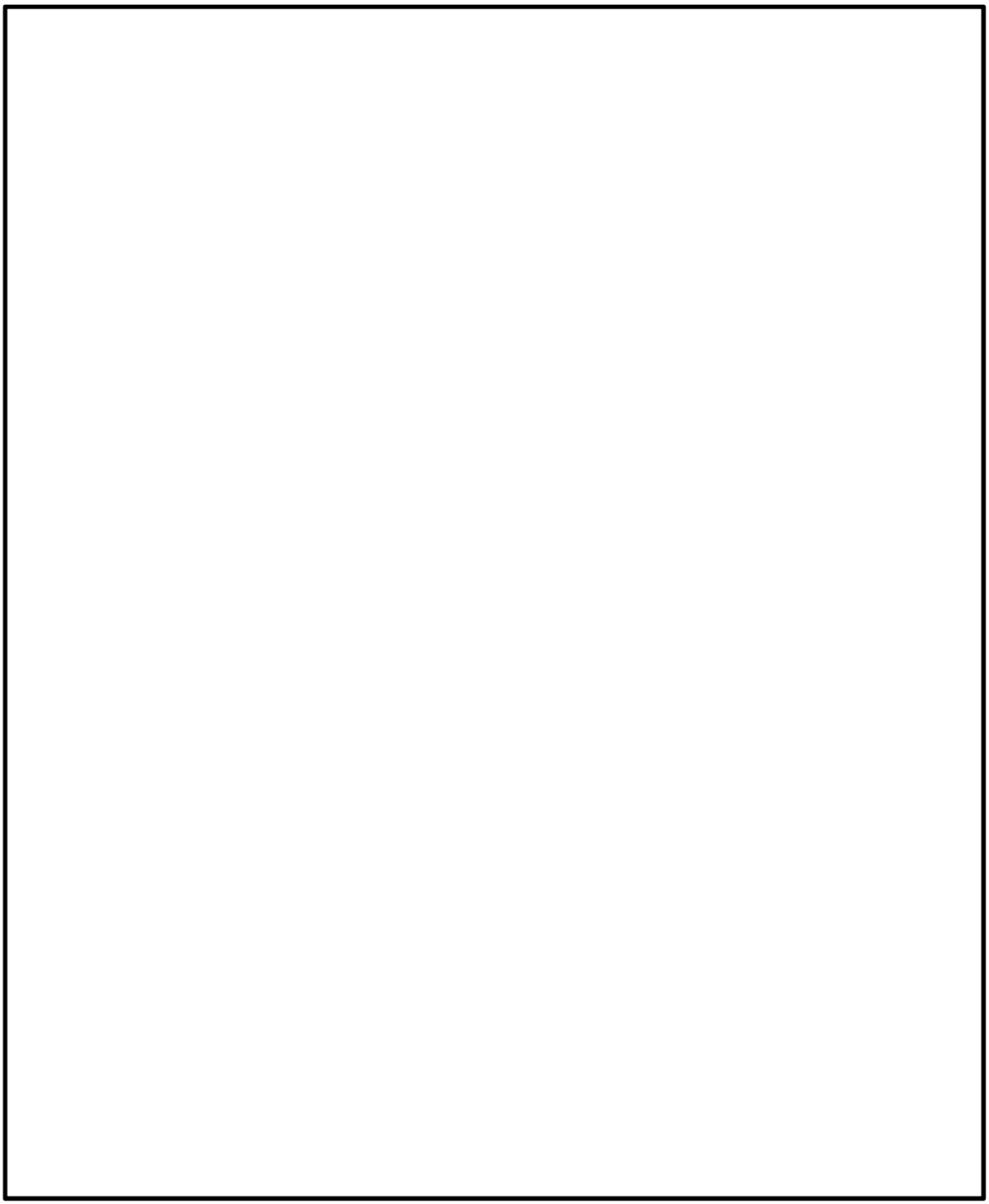
また，止水性の維持のため，鋼製防護壁と鉄筋コンクリート防潮壁との境界部に止水ジョイント部を，鋼製防護壁の底面と既設取水構造物との境界部底部に止水機構を設置する。



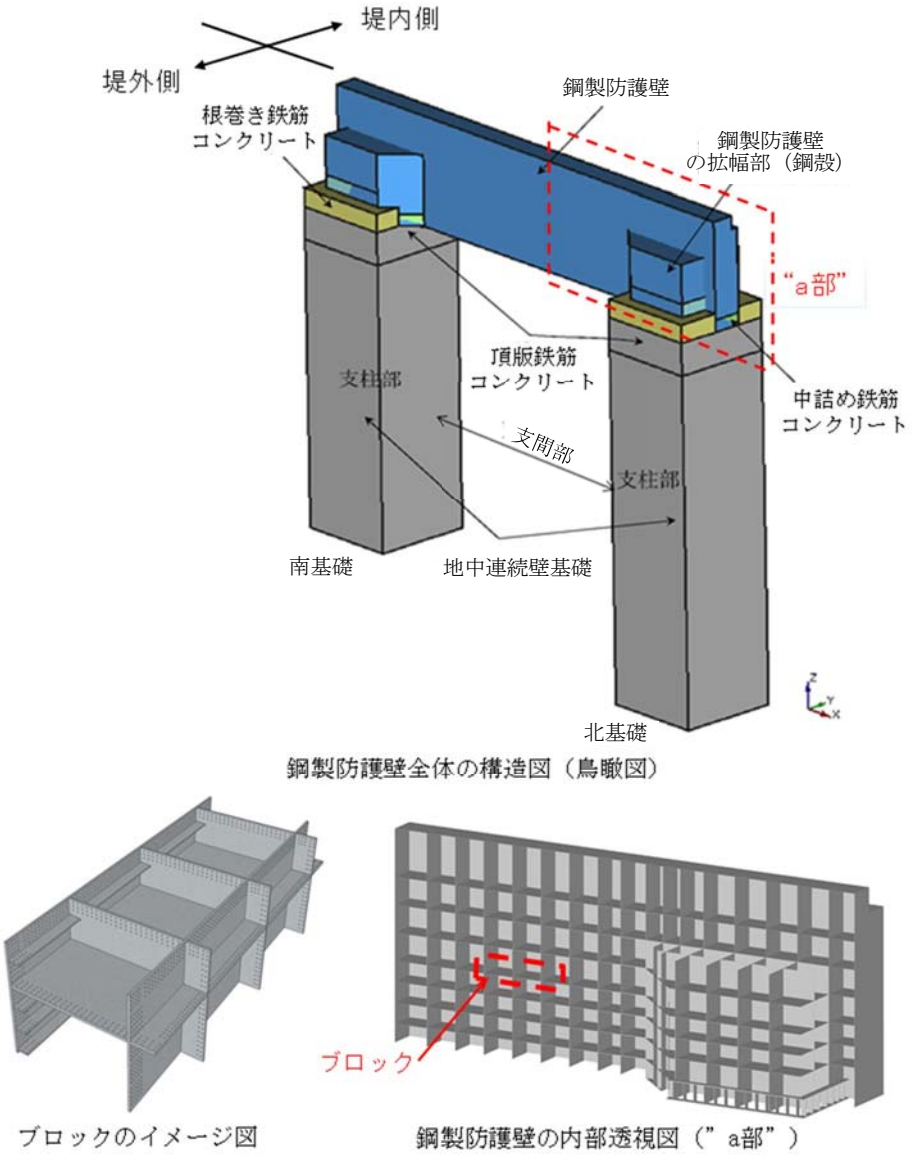
第 2-2 図　鋼製防護壁の検討対象位置平面図



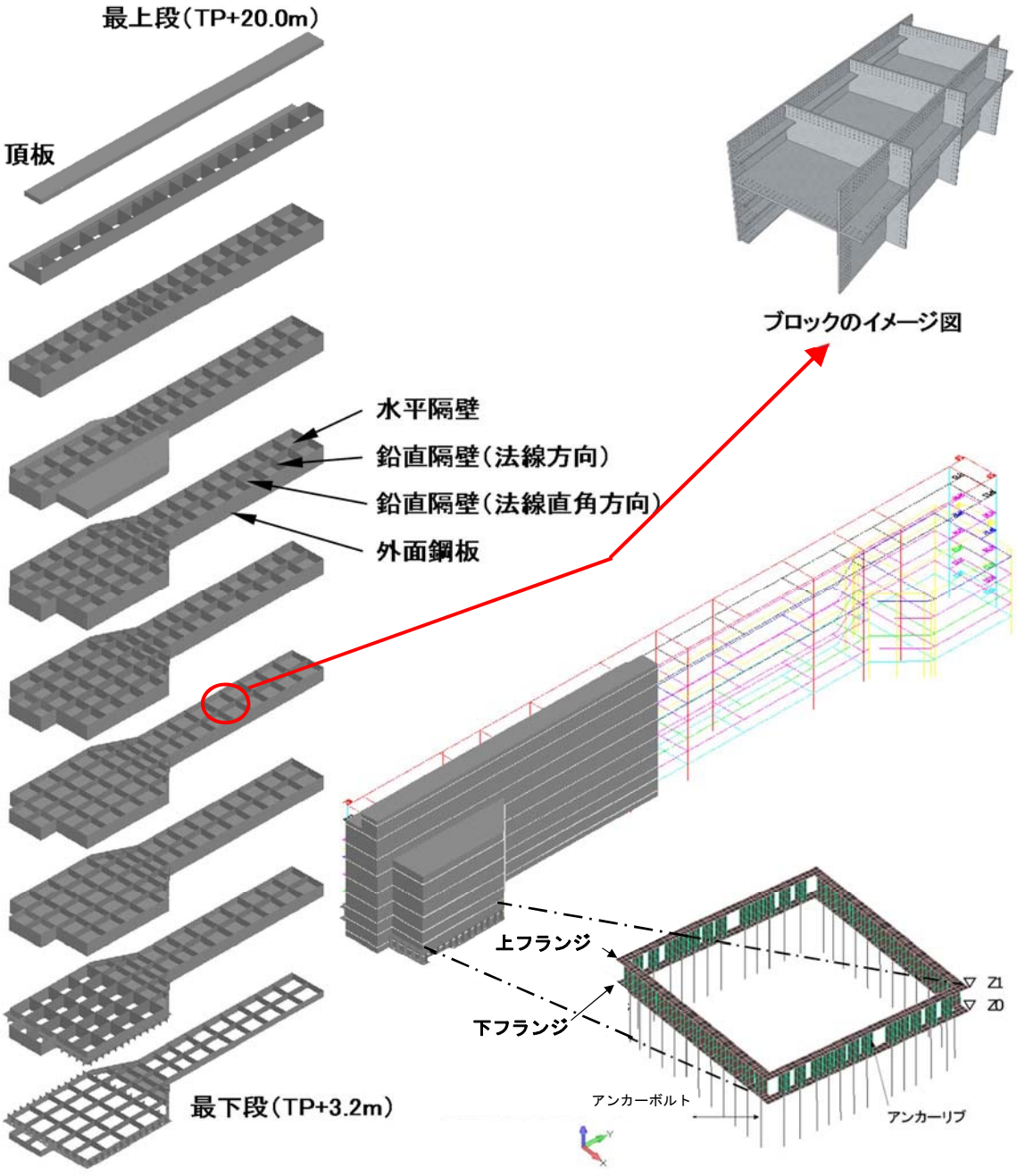
第 2-3 図　鋼製防護壁の構造概要図



第 2-4 図　鋼製防護壁の構造図

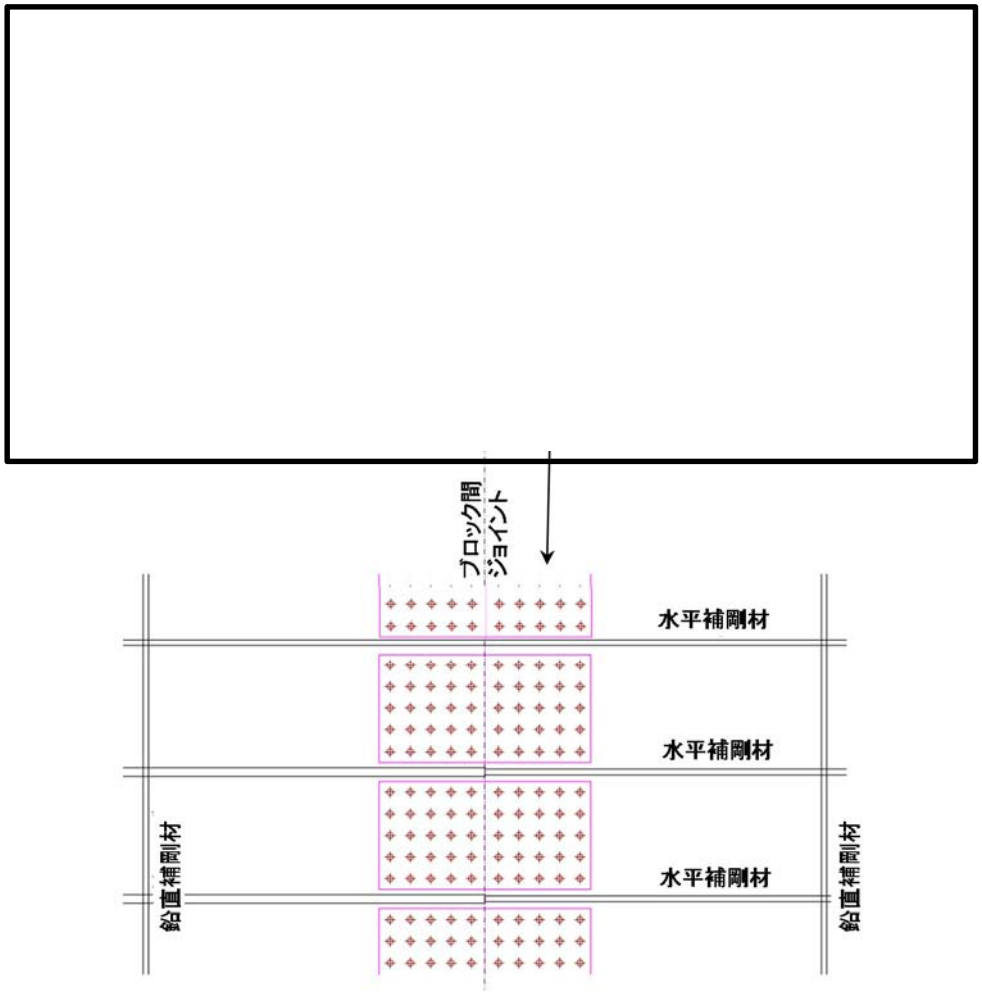


第 2-5 図　鋼製防護壁全体の構造概要図

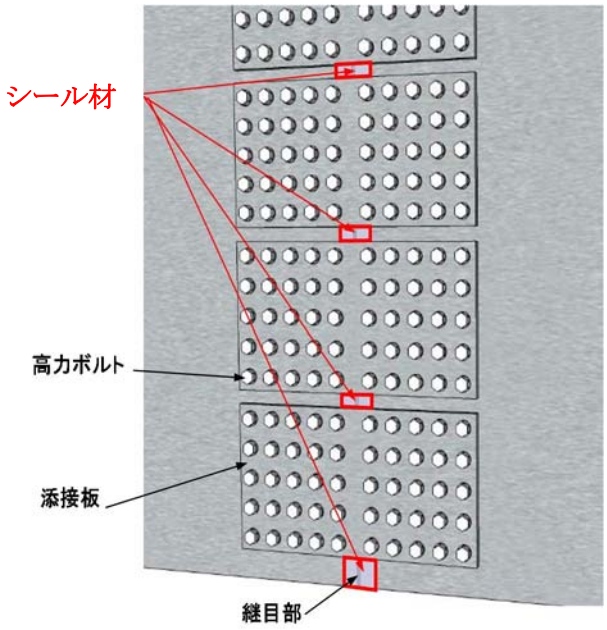


鉛直方向の分割イメージ図　　鋼製防護壁アンカー部のイメージ図

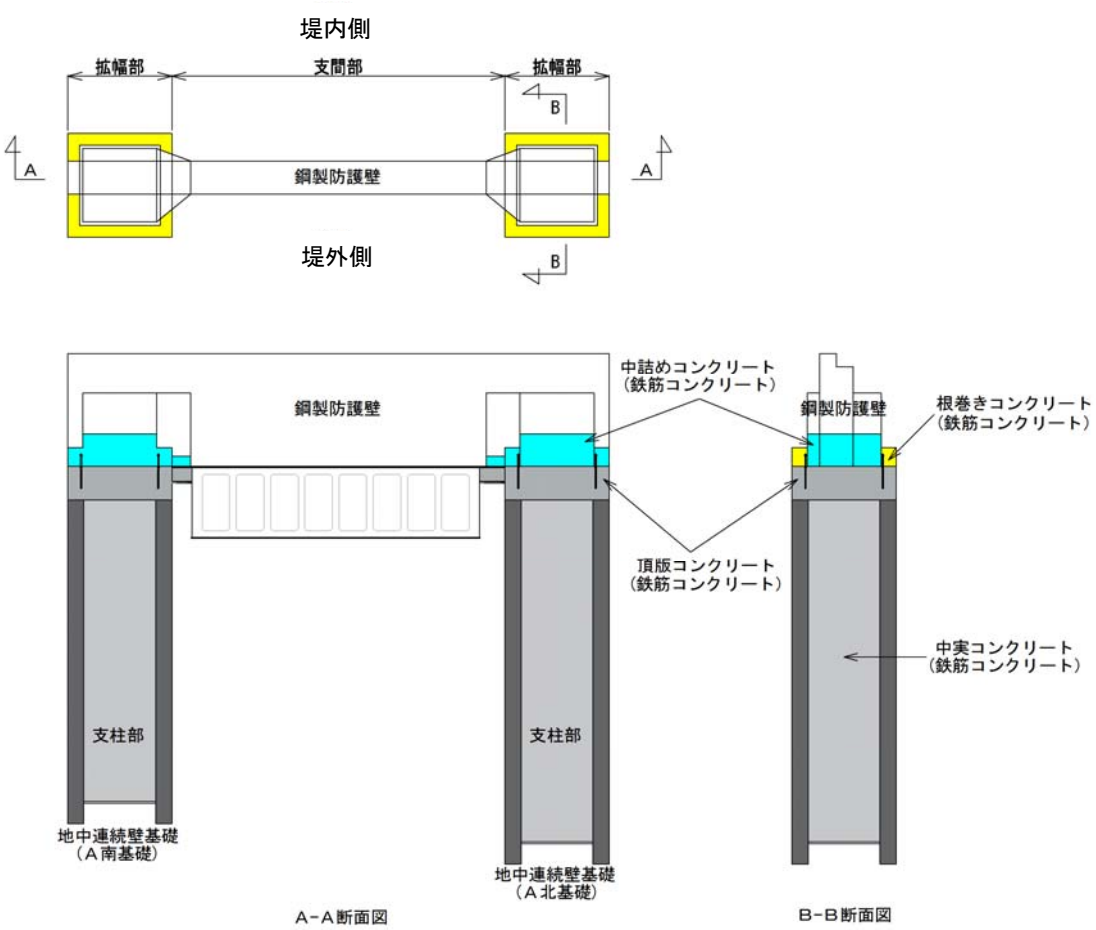
第 2-6 図（1）　鋼製防護壁上部構造の構造概要図



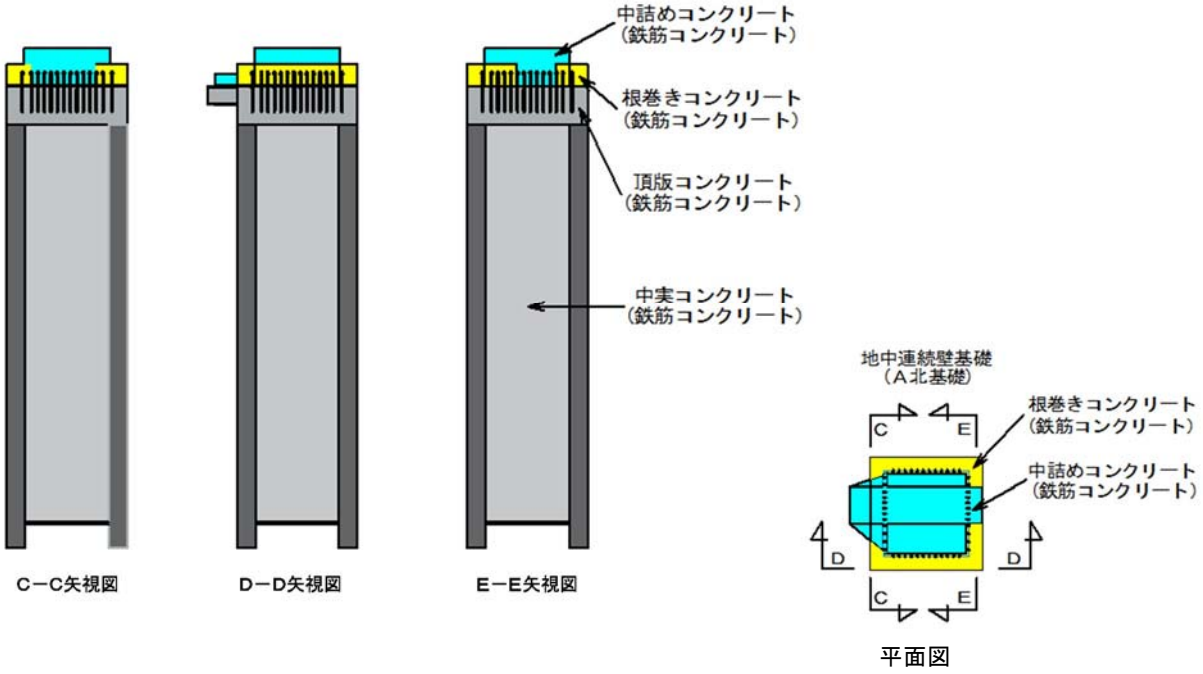
第 2-6 図（2）　鋼製防護壁上部構造の構造概要図



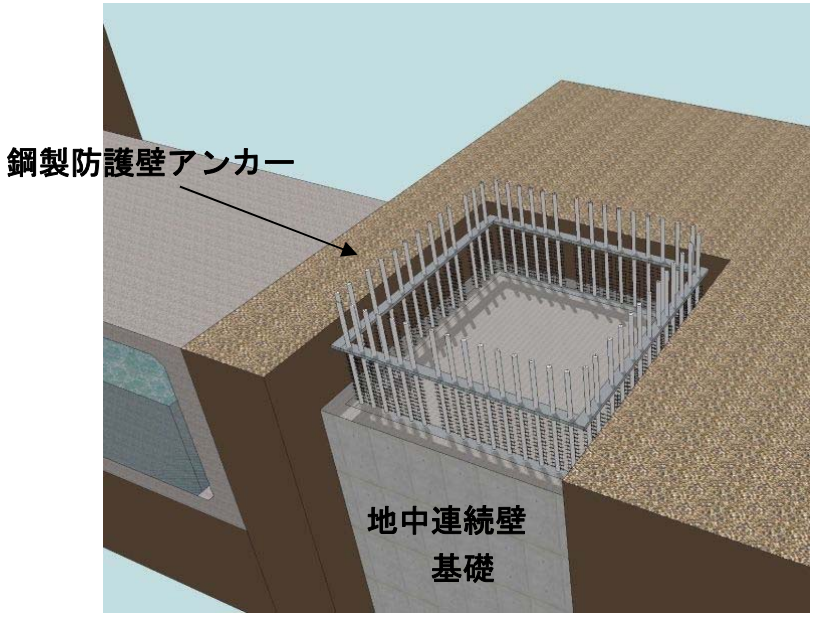
第 2-6 図（3）　シール材の概念図

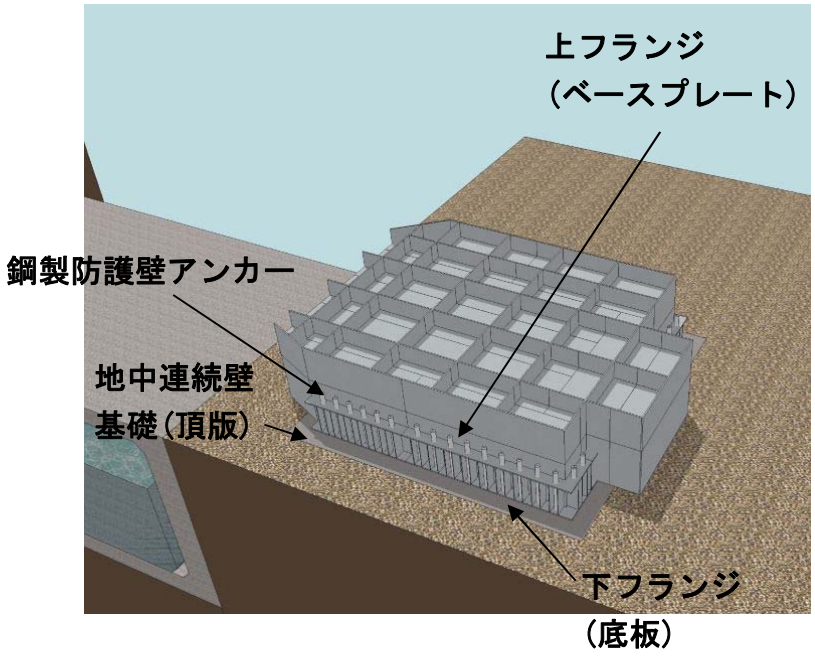


第 2-7 図（1）　鋼製防護壁の全体構成図



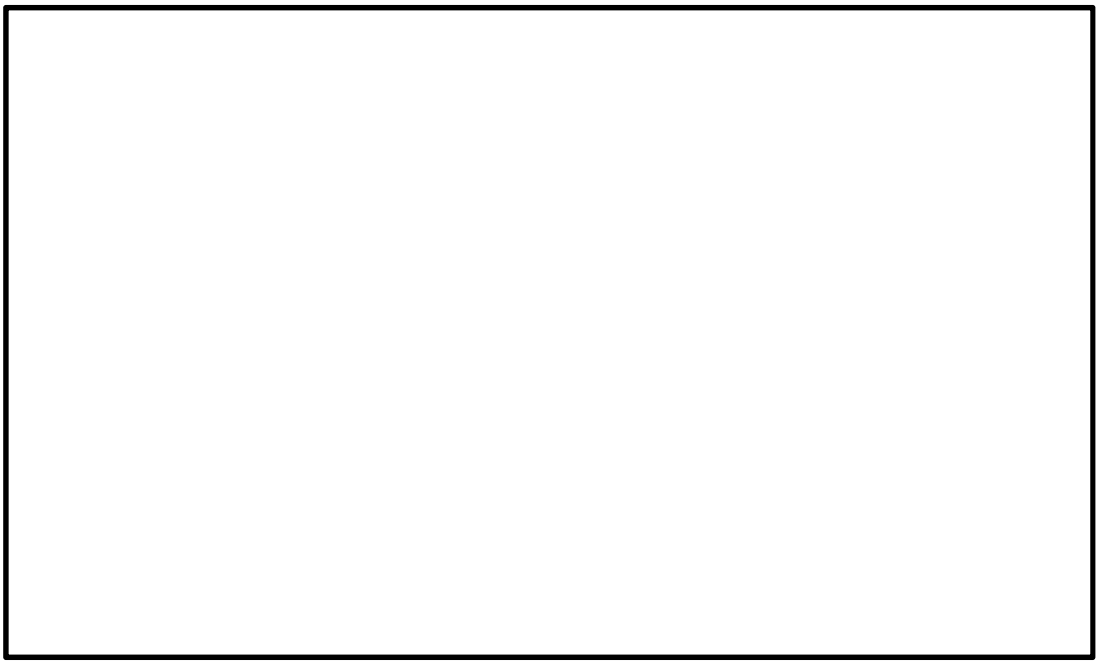
第 2-7 図（2）　鋼製防護壁（地中連続壁基礎）の構成図





第 2-8 図　鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部概要図

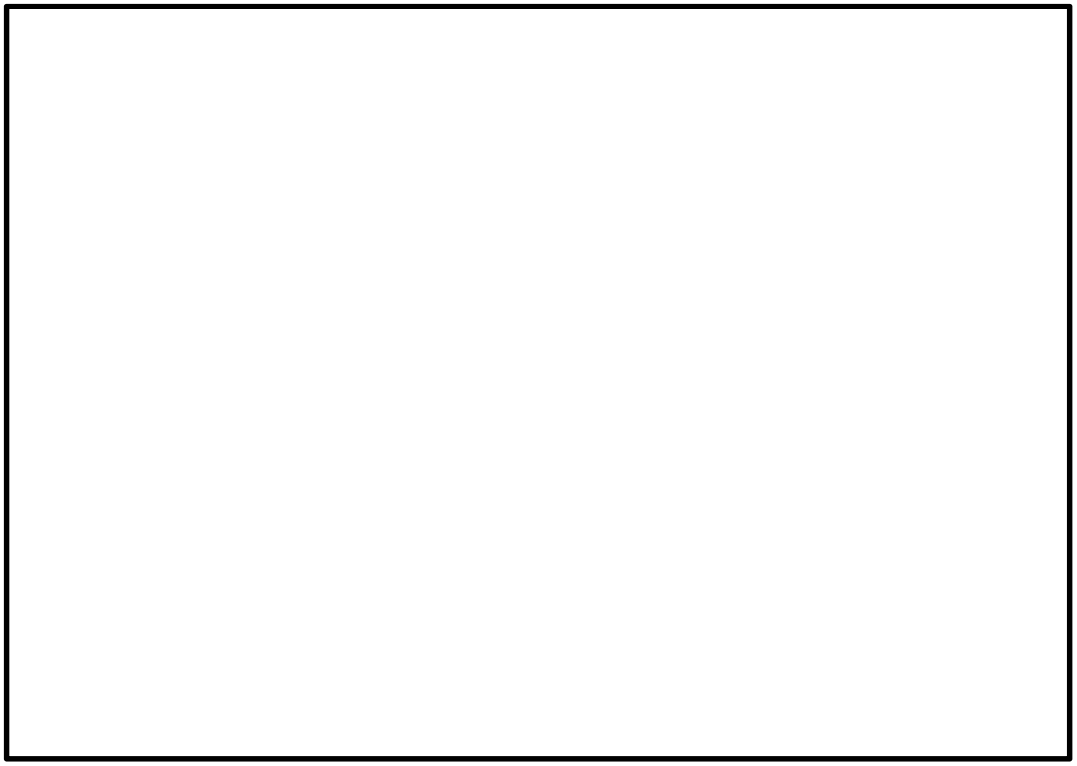
第 2-9 図（1）　鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部構造図（Ａ－Ａ断面）



第 2-9 図（2）　鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部構造図（Ｂ－Ｂ断面）

第 2-9 図（3）　鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部構造図（Ｃ－Ｃ断面）

第 2-9 図（4）　鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部構造図（Ｄ－Ｄ断面）



第 2-9 図（5）　鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部構造図（Ｅ－Ｅ断面）

第 2-1 表　部材と設計上の役割

部材名	設計上の役割
中詰め鉄筋コンクリート （f'_{ck} =50 N/mm^2）	鋼殻内部の鉄筋コンクリートで，水平方向のせん断力と水平回転モーメントを頂版鉄筋コンクリートに伝達する。
アンカーボルト （SM520B 相当）	引抜き力を頂版鉄筋コンクリートに伝達する。
頂版（フーチング）鉄筋コンクリート （f'_{ck} =50 N/mm^2）	水平方向のせん断力と水平回転モーメントを地中連続壁基礎及び中実鉄筋コンクリートに伝達する。
地中連続壁基礎及び 中実鉄筋コンクリート （f'_{ck} =40 N/mm^2）	地中連続壁基礎は，基礎外面を形成し基礎の主要部材となる。 中実鉄筋コンクリートは，地中連続壁基礎内部の鉄筋コンクリートで，地中連続壁基礎と一体となって発生断面力を負担する。
根巻き鉄筋コンクリート （f'_{ck} =24 N/mm^2）	アンカー頭部の防食などを目的とした鉄筋コンクリートであり，非構造部材として設計する。

2.3　評価方針

防潮堤（鋼製防護壁）は，Ｓクラス施設である浸水防護施設に分類される。

鋼製防護壁の強度評価は，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-1　津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2　許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ，並びに許容限界を踏まえて実施する。強度評価では，「3.　強度評価方法」に示す方法により評価し，「4.　評価結果」より，鋼製防護壁の評価対象部位に作用する応力が許容限界以下であることを確認する。

鋼製防護壁に関する評価項目を第 2-2 表に，鋼製防護壁耐津波評価フローを第 2-10 図に示す。

鋼製防護壁の強度評価においては，その構造を踏まえ，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，津波に伴う荷重作用時（以下，「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下，「重畳時」という。）について行う。

鋼製防護壁は，上部構造(鋼製防護壁)と下部構造(地中連続壁基礎)が鋼製防護壁アンカーによって剛結され，上部構造からの軸力と水平軸回りの曲げモーメントを引抜き力，押込み力として基礎上部の頂版鉄筋コンクリートに伝達することで一体構造として挙動するため，上部構造と下部構造を一体とした３次元モデルで強度評価を行う。地中連続壁基礎をはり要素，鋼製防護壁を格子状の梁要素でモデル化する。

鋼製防護壁の強度評価は，設計基準対象施設として第 2-2 表の鋼製防護壁の評価項目に示すとおり，構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

構造部材の健全性評価については，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については，鋼製防護壁を支持する基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。なお，津波時に発生する接地圧は，地震時及び重畳時に生じる接地圧に包絡されると考えられるため，強度評価における基礎地盤の支持性能評価は重畳時のみ実施する。

重畳時の支持性能評価における入力地震動は，解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動Ｓ$_{d}$－Ｄ１を１次元波動論により有効応力解析モデル底面位置で評価したものを用いる。また，地下水位は地表面位置に設定する。

第 2-2 表　鋼製防護壁の評価項目

評価方針	評価項目	部位		評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鋼製防護壁		発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		地中連続壁基礎（中実鉄筋コンクリート）		発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製防護壁アンカー（アンカーボルト，頂版鉄筋コンクリート，中詰め鉄筋コンクリート）		発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤		接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	鋼製防護壁		発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		地中連続壁基礎（中実鉄筋コンクリート）		発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製防護壁アンカー（アンカーボルト，頂版鉄筋コンクリート，中詰め鉄筋コンクリート）		発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤		接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
	構造物の変形性	止水ジョイント部	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記　＊：妥当な安全余裕を考慮する。

第 2-3 表　津波時の地盤剛性及び地盤バネの上限値の組合せ

荷重条件	地盤剛性	上限値
津波時	初期剛性 余震時の収束剛性 地震時の収束剛性 静弾性係数	ピーク強度（平均） ピーク強度（－1σ） 残留強度（平均） 残留強度（－1σ）

津波時の地盤剛性及び地盤バネの上限値の設定は，第 2-3 表に示す地盤剛性 4 種類と地盤バネの上限値 4 種類を用いて，地盤の最も高い剛性（初期剛性）と最も大きい強度（ピーク強度（平均））の組合せによる構成式及び地盤の最も低い剛性（静弾性係数）と最も小さい強度（残留強度（－１σ））の組合せによる構成式を地盤バネの設定で用いることにより，各部位で安全側となる設計を行う。地盤の最も高い剛性と最も大きい強度の組合せは，初期剛性とピーク強度（平均）の組合せを用いる。地盤の最も低い剛性と最も小さい強度の組合せは，津波による影響が支配的な地表面付近の剛性を比較すると，敷地においては静弾性係数の方が地震時の収束剛性よりも小さいことから，静弾性係数と残留強度（－１σ）の組合せを用いる。

構造部材の健全性評価のうち津波時の検討では，津波襲来前に発生する地震動に起因した地盤の沈下及び軟化の影響を考慮するため，第 2-4 表に示すように３次元静的フレーム解析における地盤バネの剛性及び上限値を増減させた検討を実施し，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

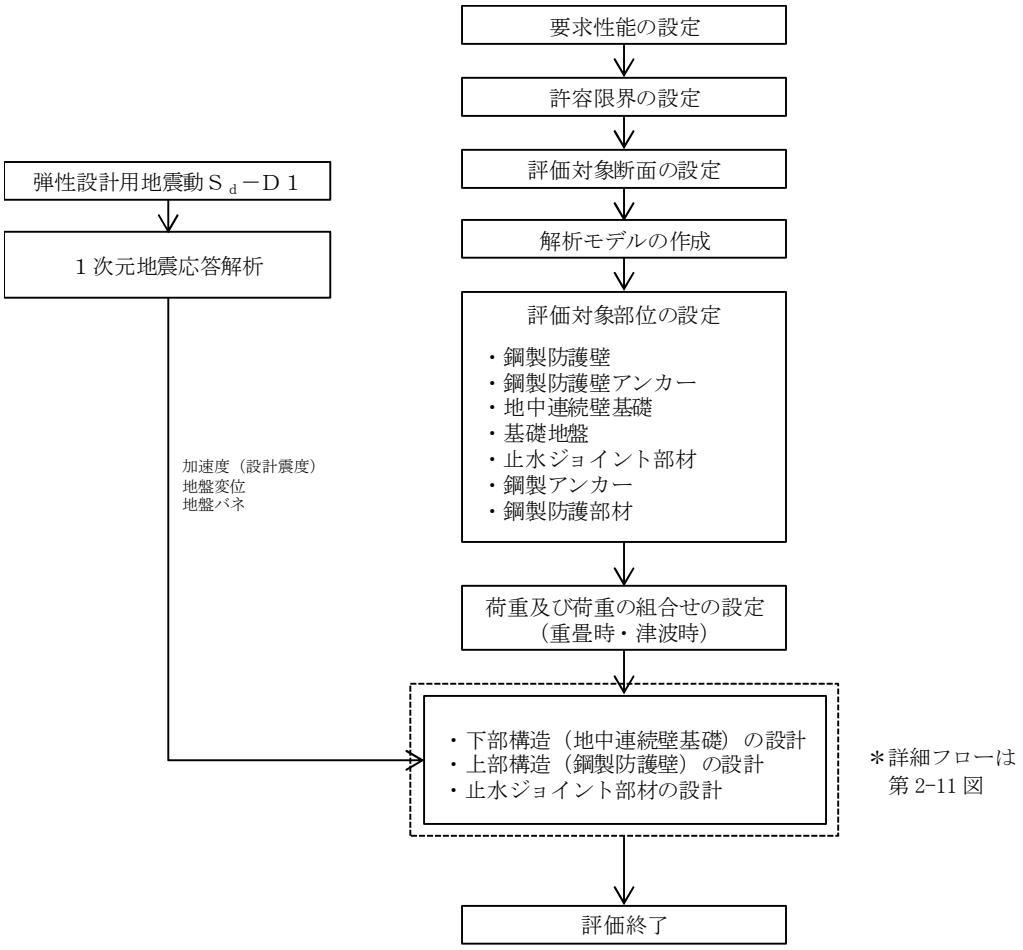
重畳時の検討では，１次元有効応力解析結果を用いて地盤バネの剛性及び上限値を設定した後に３次元静的フレーム解析を実施し，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。なお，重畳時の検討では，第 2-5 表に示すような地盤物性のばらつきの影響評価を実施する。

第 2-4 表　津波時の検討で考慮する組合せ

検討ケース	地盤剛性	上限値
1	初期剛性	ピーク強度（平均）
2	静弾性係数	残留強度（－1σ）

第 2-5 表　重畳時の検討で実施する地盤物性のばらつき

検討ケース	① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮（－１σ）した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性 の設定	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用



注記　＊1：構造部材の健全性評価を実施することで，第 2-2 表に示す「構造強度を有すること」及び「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する。

＊2：基礎地盤の支持性能評価を実施することで，第 2-2 表に示す「構造強度を有すること」及び「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する。

＊3：構造物の変形性評価を実施することで，第 2-2 表に示す「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する。

第 2-10 図　鋼製防護壁の耐津波評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

・コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（土木学会，2002 年制定）
・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）
・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）
・道路橋示方書（Ⅱ鋼橋・鋼部材編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 29 年 11 月）
・道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）
・道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）（（社）日本道路協会，平成 22 年 3 月）
・鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）
・原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1987（（社）日本電気協会）
・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）

NT2 補② Ⅴ-3-別添 3-2-1-1 R1

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN	積載荷重
P_s	kN	積雪荷重
P_t	kN/m^2	遡上津波荷重
P_c	kN	衝突荷重
K_{Sd}	kN	余震荷重
P_k	kN/m^2	風荷重
σ_{ca}	N/mm^2	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
τ_{a1}	N/mm^2	コンクリートの短期許容せん断応力度
τ_a	N/mm^2	コンクリートの短期許容付着応力度
τ_{coa1}	N/mm^2	コーンせん断応力度（コンクリートのみ）
τ_{coa2}	N/mm^2	コーンせん断応力度（鉄筋補強をする場合）
σ_{sa}	N/mm^2	鉄筋及び鋼材の短期許容引張応力度
τ_{sa}	N/mm^2	鋼材の短期許容せん断応力度
V_a	N/mm^2	斜め引張鉄筋を考慮する場合の短期許容せん断力
V_{ca}	N/mm^2	コンクリートの短期許容せん断力
V_{sa}	N/mm^2	斜め引張鉄筋の短期許容せん断力
τ_{a1}	N/mm^2	斜め引張鉄筋を考慮しない場合の短期許容せん断応力度
b_w	m	有効幅
j	－	1／1.15
d	m	有効高さ
A_w	m^2	斜め引張鉄筋断面積
s	m	斜め引張鉄筋間隔
M	kN･m	曲げモーメント
N	kN	軸力
S	kN	せん断力
σ	N/mm^2	曲げモーメント及び軸力による応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度
g	m/s^2	重力加速度
h	m	浸水深

k_h	―	水平震度
k_v	―	鉛直震度
p_1	kN/m^2	鋼製防護壁底面における波圧強度
p_2	kN/m^2	鋼製防護壁天端面における波圧強度
P_d	m/s^2	動水圧合力
y	m	動水圧の作用高さ

3.2　評価対象断面及び部位

鋼製防護壁の評価対象断面は，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-1　津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて設定する。

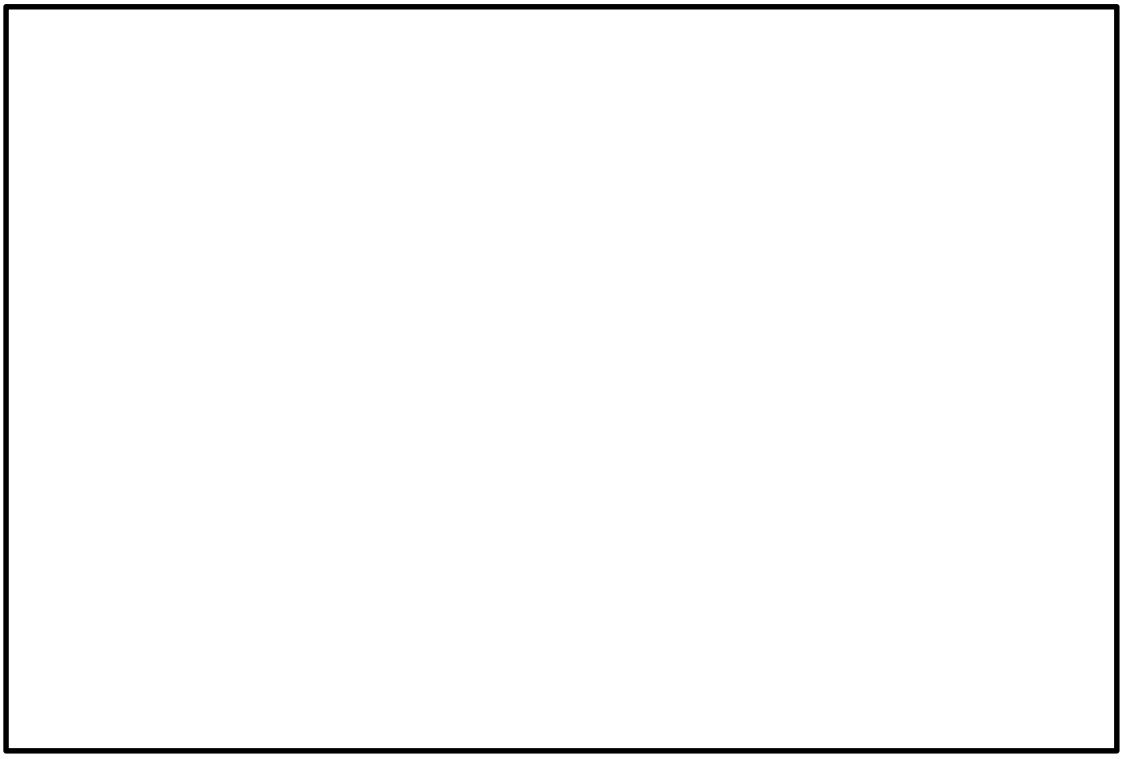
評価対象断面は，鋼製防護壁の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。評価対象断面位置図を第 3-1 図に，評価対象の断面図を第 3-2 図に示す。なお，各評価対象部位の解析モデル及び評価方法は，「3.5　評価方法」に示す。

(1)　構造部材の健全性

構造部材の健全性に係る評価対象部位は，鋼製防護壁，地中連続壁基礎を連結する鋼製防護壁アンカー（アンカーボルト，頂版鉄筋コンクリート，中詰め鉄筋コンクリート）及び地中連続壁基礎の各鋼部材及び鉄筋コンクリート部材について設定する。

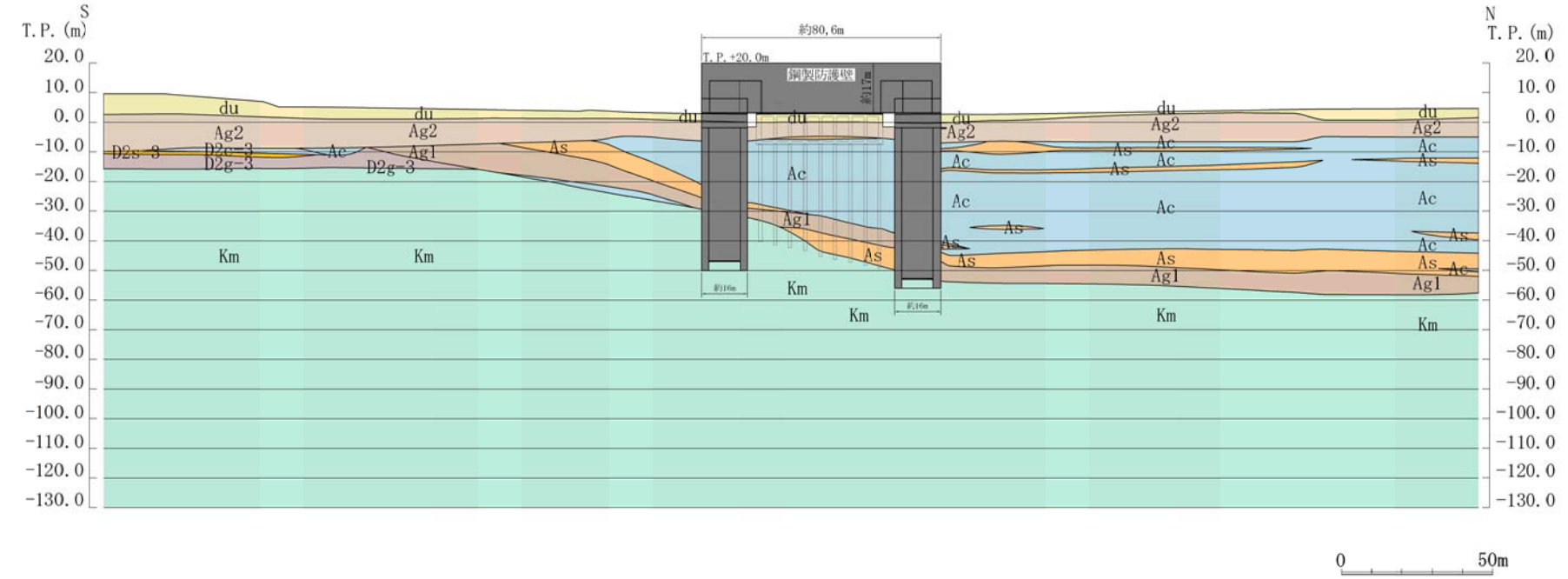
(2)　基礎地盤の支持性能

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は，鋼製防護壁の下部構造となる地中連続壁基礎を支持する基礎地盤とする。

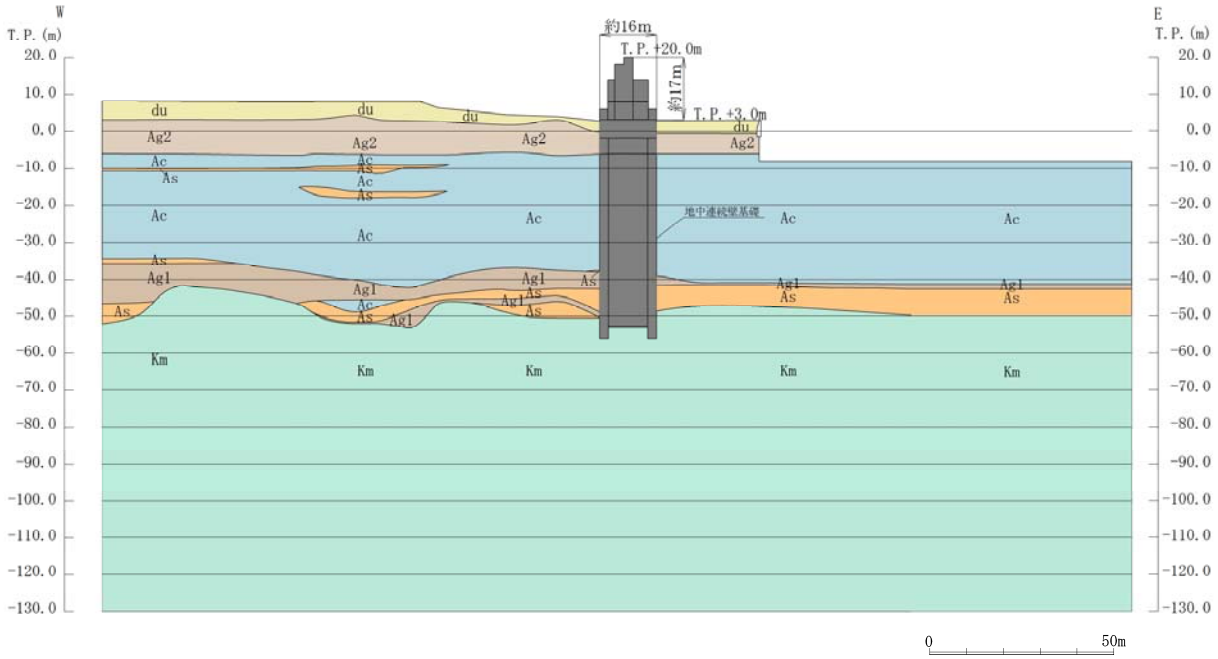


第 3-1 図　鋼製防護壁の検討対象断面位置

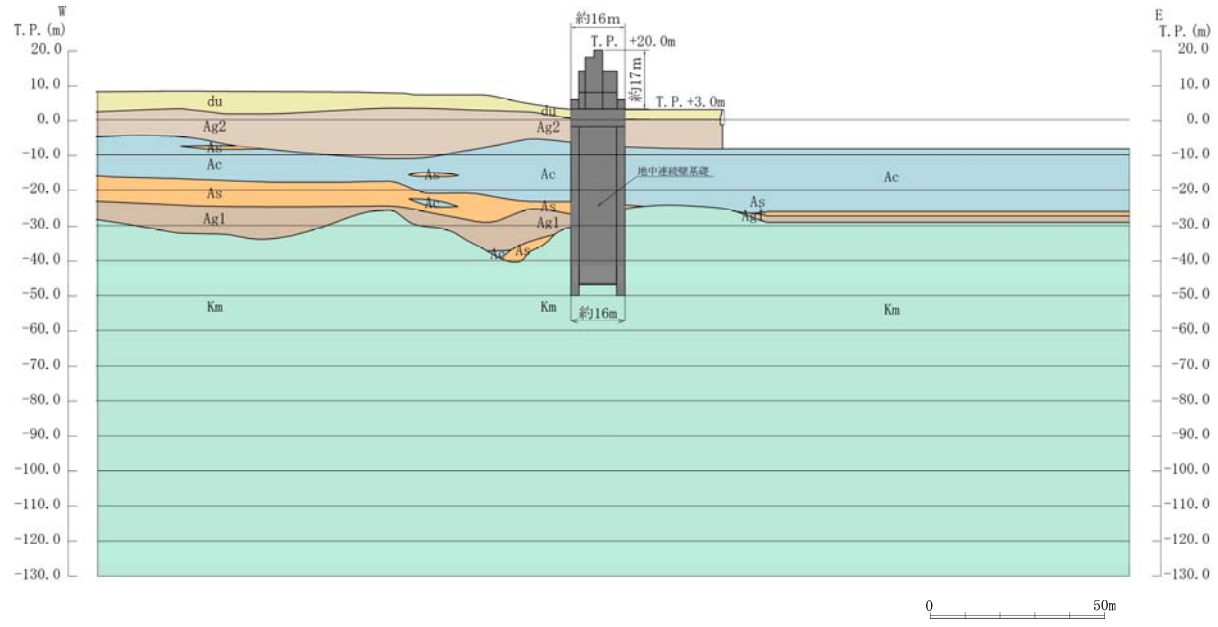
①～③の断面を検討対象断面とする。



第 3-2 図（1）　鋼製防護壁断面図（①－①断面）



第 3-2 図（2）　鋼製防護壁断面図（②－②断面）



第 3-2 図（3）　鋼製防護壁断面図（③－③断面）

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-1　津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.1　荷重

鋼製防護壁の強度評価において，考慮する荷重を以下に示す。

(1)　固定荷重（G）

固定荷重として，躯体自重を考慮する。

(2)　積載荷重（P）

積載荷重として，機器・配管自重を考慮する。

なお，考慮する機器・配管荷重は第 3-2 表のとおりである。

第 3-2 表　機器・配管荷重一覧表

機器	備考
スクリーン室クレーン	840 kN

(3)　遡上津波荷重（P_t）

遡上津波荷重については，防潮堤前面における最大津波水位標高と防潮堤設置地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし，朝倉式に基づき，その 3 倍を考慮して算定する。

(4)　衝突荷重（P_c）

衝突荷重として，第 3-3 表に示す 0.69 t 車両の FEMA（2012）*式による漂流物荷重を考慮する。

注記　＊：FEMA：Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

第 3-3 表　衝突荷重

	流速（m/s）	衝突荷重（kN）
基準津波時	11	759
T.P.＋24 m 津波時	15	1035

(5)　余震荷重（K_{sd}）

余震荷重として，弾性設計用地震動S_d－Ｄ１による地震力及び動水圧を考慮する。

重畳時は，余震荷重として水平慣性力，鉛直慣性力及び応答変位を考慮する。地表面の最大加速度から水平震度及び鉛直震度を算定し，積雪荷重に対応する慣性力を作用させる。

(6) 積雪荷重（P_s）

積雪荷重については，「建築基準法施行令第 86 条」及び「茨城県建築基準法施工細則第 16 条の 4」に従って設定する。積雪の厚さ 1 cm 当たりの荷重を 20 $N/m^2/cm$ として，積雪量は 30 cm としていることから積雪荷重は 600 N/m^2 であるが，地震時短期荷重として積雪荷重の 0.35 倍である 0.21 kN/m^2 を考慮する。

(7) 風荷重（P_k）

津波時は海からの風荷重は受圧面となる防潮壁には作用しない。また，陸からの風荷重は考慮しない方が保守的である。したがって，陸からの風荷重は考慮しない。

3.3.2　荷重の組合せ

荷重の組合せを第 3-4 表及び第 3-5 表に示す。強度評価に用いる荷重の組合せは基準津波時及び T.P.＋24 m 津波時それぞれに応じて，津波時及び重畳時に区分する。

第 3-4 表　荷重の組合せ（津波時）

区分	荷重の組合せ
津波時	$G＋P＋P_t＋P_c＋P_S$

G　：固定荷重
P　：積載荷重
P_t　：遡上津波荷重
P_c　：衝突荷重
P_S　：積雪荷重

第 3-5 表　荷重の組合せ（重畳時）

区分	荷重の組合せ
重畳時	$G＋P＋P_t＋K_{Sd}＋P_S$

G　：固定荷重
P　：積載荷重
P_t　：遡上津波荷重
K_{Sd}：余震荷重
P_S　：積雪荷重

3.4　許容限界

鋼製防護壁の許容限界は，「3.2　評価対象断面」にて設定した評価対象断面の応力や変形の状態を考慮し，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-1　津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している許容限界を踏まえて設定する。

(1)　鉄筋コンクリートの許容限界

許容限界については各規格，基準類に基づき第 3-6 表のとおり設定する。短期許容応力度は，基準津波時におけるコンクリート及び鉄筋の許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。また，T.P.＋24　m 津波時は 2.0 倍（コンクリート），1.65 倍（鉄筋）の割増を考慮する。

第 3-6 表（1）　許容限界（基準津波時）

評価項目				許容限界 (N/mm^2)
コンクリート	f'_{ck}＝50 N/mm^2 *3	短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}		24.0
		短期許容せん断応力度 τ_{a1}		0.825*5
		短期許容付着応力度 τ_{a}		4.5*4
		短期コーンせん断応力度 τ_{coa1}		0.825*4
		短期コーンせん断応力度 τ_{coa2}		1.815*4
	f'_{ck}＝40 N/mm^2 *1	短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}		21.0
		短期許容せん断応力度 τ_{a1}		0.825*5
鉄筋	SD490*2	短期許容引張応力度 σ_{sa}	軸方向鉄筋	435
			せん断補強筋	300
	SD390*1	短期許容引張応力度 σ_{sa}		309
	SD345*1	短期許容引張応力度 σ_{sa}		294

注記　＊1：コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（土木学会，2002 年制定）

＊2：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）

＊3：道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）（（社）日本道路協会，平成 22 年 3 月）

＊4：鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）におけるコンクリートの設計基準強度 27 N/mm^2 に対応する値を適用する。

＊5：斜め引張鉄筋を考慮する場合は，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき，次式により算定する短期許容せん断力（V_a）を許容限界とする。

$V_a = V_{ca} + V_{sa}$

ここで,

V_{ca}：コンクリートの短期許容せん断力

$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$

V_{sa}：斜め引張鉄筋の短期許容せん断力

$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot j \cdot d / s$

τ_{a1}　：斜め引張鉄筋を考慮しない場合の短期許容せん断応力度

b_w　：有効幅

j　：1／1.15

d　：有効高さ

A_w　：斜め引張鉄筋断面積

σ_{sa}　：鉄筋の短期許容引張応力度

s　：斜め引張鉄筋間隔

第 3-6 表 (2)　許容限界（T.P.＋24 m 津波時）

評価項目				許容限界 (N/mm^2)
コンクリート	f'_{ck}＝50 N/mm^2 *3	短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}		32.0
		短期許容せん断応力度 τ_{a1}		1.1*5
		短期許容付着応力度 τ_a		6.0*4
		短期コーンせん断応力度 τ_{coa1}		0.825*4
		短期コーンせん断応力度 τ_{coa2}		1.815*4
	f'_{ck}＝40 N/mm^2 *1	短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}		28.0
		短期許容せん断応力度 τ_{a1}		1.1*5
鉄筋	SD490*2	短期許容引張応力度 σ_{sa}	軸方向鉄筋	478.5
			せん断補強筋	330
	SD390*1	短期許容引張応力度 σ_{sa}		339.9
	SD345*1	短期許容引張応力度 σ_{sa}		323.4

注記　＊1：コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（土木学会，2002 年制定）

＊2：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）

＊3：道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）（（社）日本道路協会，平成 22 年 3 月）

＊4：鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）におけるコンクリートの設計基準強度27 N/mm^2に対応する値を適用し，1.5倍の割増しを考慮する。

＊5：斜め引張鉄筋を考慮する場合は，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき，算定する短期許容せん断力（V_a）を許容限界とする。

(2)　鋼製防護壁及びアンカーボルトの許容限界

許容限界については各規格，基準類に基づき第 3-7 表のとおり設定する。第 3-7 表に示す許容限界は短期許容応力度とし，短期許容応力度は，基準津波時における鋼材の許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。また，T.P.＋24 m 津波時は，SBHS500 を除いて 1.7 倍（鋼材）の割増を考慮する。T.P.＋24 m 津波時の SBHS500 の許容限界は引張降伏及びせん断降伏とする。

第 3-7 表（1）　許容限界（基準津波時）

評価項目			許容限界 (N/mm^2)
鋼材	SS400 SM400	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	210*1
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	120*1
	SM490	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	277.5*1
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	157.5*1
	SM490Y	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	315*1
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	180*1
	SM520B 相当	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	315*2
	SM570	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	382.5*1
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	217.5*1
	SBHS500	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	442.5*3
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	255*3

注記　＊1：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）

上記値は，板厚 40 mm 以下の値を示す。

板厚が 40 mm を超える場合は，3.2.1，3.2.3，15.3 に示される許容応力度を用いる。

＊2：鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）

＊3：道路橋示方書（Ⅱ鋼橋・鋼部材編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 29 年 11 月）

第 3-7 表 (2)　許容限界（T.P.＋24 m 津波時）

評価項目			許容限界 (N/mm^2)
鋼材	SS400 SM400	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	238*1
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	136*1
	SM490	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	314.5*1
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	178.5*1
	SM490Y	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	357*1
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	204*1
	SM520B 相当	降伏応力度 σ_y	355*2
	SM570	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	433.5*1
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	246.5*1
	SBHS500	引張降伏 σ_y	500*3
		せん断降伏 τ_y	285*3

注記　＊1：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）

上記値は，板厚 40 mm 以下の値を示す。

板厚が 40 mm を超える場合は，3.2.1，3.2.3，15.3 に示される許容応力度を用いる。

＊2：鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）を適用し，降伏応力度を用いる。

＊3：道路橋示方書（Ⅱ鋼橋・鋼部材編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 29 年 11 月）

(3)　基礎地盤の支持性能評価における許容限界

極限支持力は，添付書類「Ⅴ-2-1-3　地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき，道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）により設定する。

道路橋示方書による地中連続壁基礎の支持力算定式を以下に示す。

$R_u = q_d \cdot A$

R_u ： 基礎底面地盤の極限支持力（kN）

q_d ： 基礎底面地盤の極限支持力度（kN/m^2）

$q_d = 3 \cdot q_u$

q_u：支持岩盤の一軸圧縮強度（kN/m^2）

＊$C_{CUU} = q_u/2$ より，$q_u = C_{CUU} \times 2$

ここで，C_{CUU}は Km 層の非排水せん断強度*

A ： 基礎の底面積（m^2）

上記にて求められる基礎地盤の極限支持力を第 3-8 表に示す

第 3-8 表　基礎地盤の支持力に対する許容限界

項目	算定結果
極限支持力度 q_d（kN/m^2）（北側基礎）	6116
極限支持力度 q_d（kN/m^2）（南側基礎）	5991

注記　＊：非排水せん断強度 $C_{CUU} = (0.837 - 0.00346 \cdot Z) \times 1000$（kN/m^2）

基礎底面標高　北側基礎：Z＝T.P.－52.7（m）

南側基礎：Z＝T.P.－46.7（m）

(4)　止水ジョイント部材

止水ジョイント部材の変形量の許容限界は，メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。第 3-9 表に止水ジョイント部材の変形量の許容限界を示す。

第 3-9 表　止水ジョイント部材の変形量の許容限界

評価項目	許容限界
止水ジョイント部材 （シートジョイント）	2 m

3.5　評価方法

鋼製防護壁の評価方法は，添付書類「Ⅴ-3-別添 3-1　津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に基づき設定する。

鋼製防護壁の強度評価は，解析結果により得られる照査用応答値が「3.4　許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

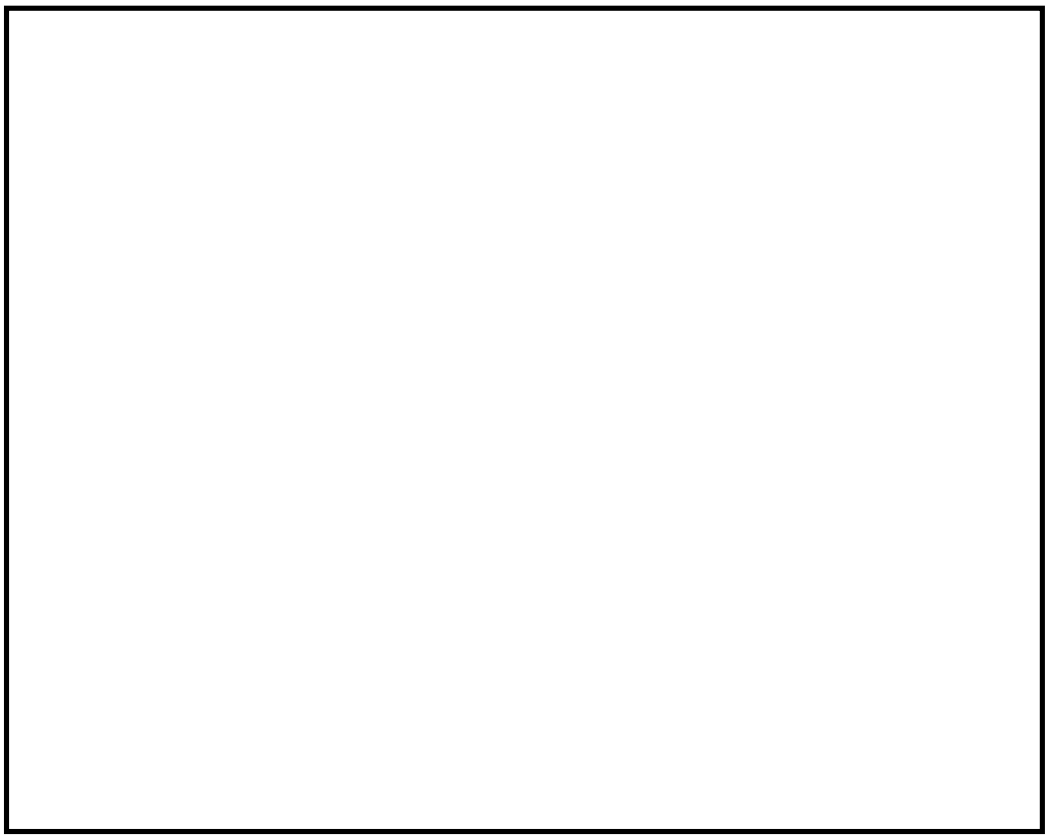
3.5.1　津波時

鋼製防護壁の津波時の評価に用いる解析モデル及び評価方法を以下に示す。

(1)　鋼製防護壁の解析モデル

a.　解析モデル

津波時における鋼製防護壁は，上部構造と下部構造を一体とした３次元フレームモデルで強度評価を行う。津波時の鋼製防護壁の３次元静的フレーム解析モデル概念図を第3-3 図に示す。３次元静的フレーム解析には解折コード「Engineer's Studio Ver. 6.00.04」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，添付書類「V-5-39　計算機プログラム（解析コード）の概要・Ｅｎｇｉｎｅｅｒ’Ｓ　Ｓｔｕｄｉｏ」に示す。



注記　＊1：基礎底面の鉛直（面直）方向地盤バネ
　　基礎前面の水平（面直）方向地盤バネ
　　＊2：基礎底面の水平方向地盤バネ
　　基礎側面の水平方向地盤バネ
　　基礎前背面の水平及び鉛直方向地盤バネ
　　基礎側面の鉛直方向地盤バネ

第 3-3 図　鋼製防護壁の津波時の３次元静的フレーム解析モデル概念図

b.　構造物のモデル化

鋼製防護壁は，上部構造と下部構造を一体とし，地盤バネを設定した３次元フレーム解析モデルに津波荷重等を載荷して評価する。

上部構造は，水平（Ｘ方向）隔壁及び鉛直（Ｚ方向）隔壁の交差位置並びに添接板継手位置を節点とし，それらを結合したはり要素で構成される格子モデルとする。モデル化のイメージ図を第 3-4 図に示す。

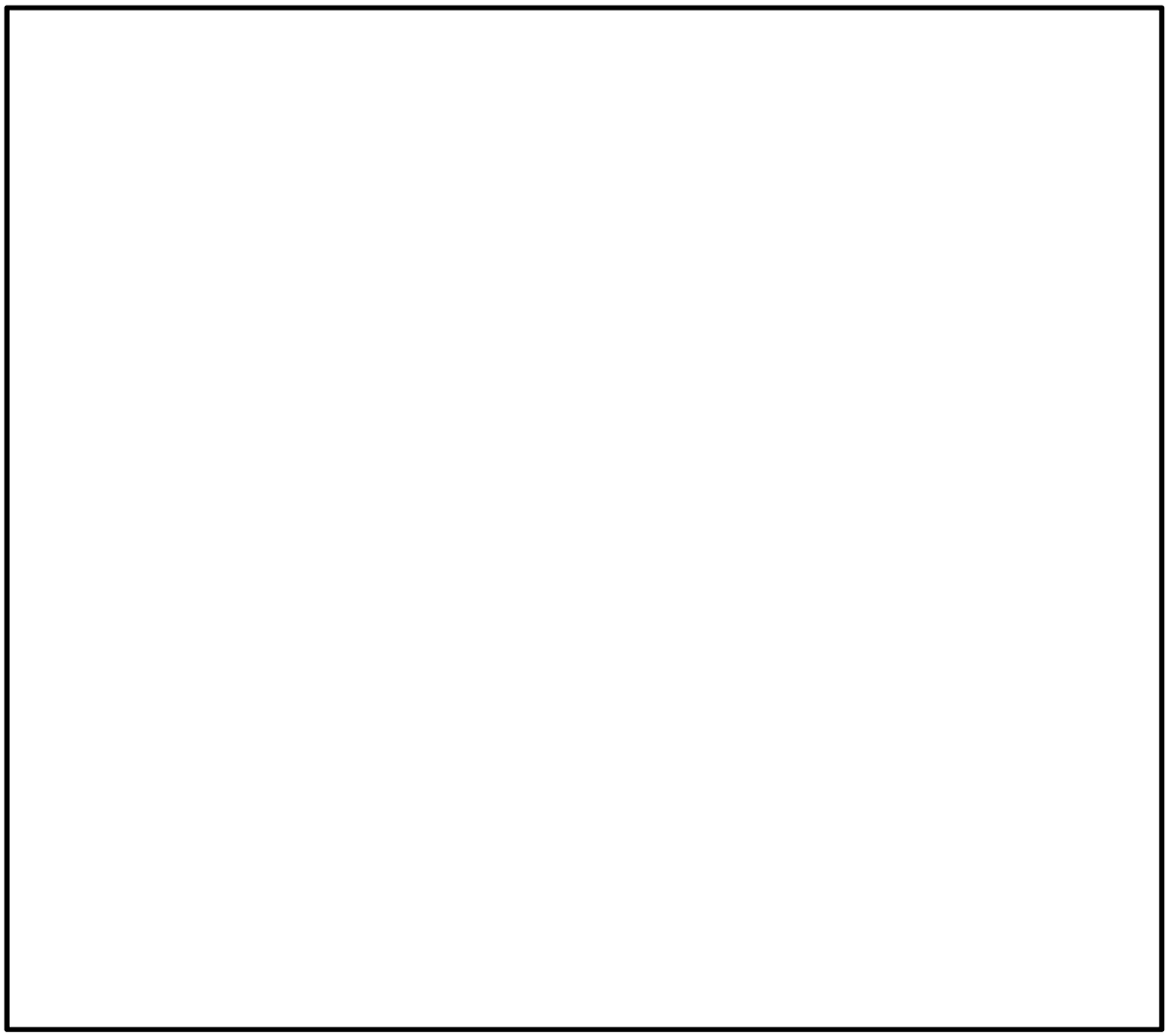
ⅰ）主桁部材（水平方向）は，外壁鋼板をフランジ，水平（Ｘ方向）隔壁をウェブとみなしたＩ断面とする（第 3-4 図の青色表示部分）。

ⅱ）横桁部材（鉛直方向）は，外壁鋼板をフランジ，鉛直（Ｚ方向）隔壁をウェブとみなしたＩ断面とする（第 3-4 図の赤色表示部分）。

ⅲ）ねじれ剛性は，外面鋼板が連続していることから，箱断面として算定したねじれ剛性を両部材に考慮する。

上部構造の鋼製防護壁と下部構造の地中連続壁基礎は構造梁要素でモデル化する。地中連続壁基礎をモデル化したはり要素には仮想剛梁要素を配置し，地中連続壁基礎の幅を考慮する。

地中連続壁基礎の要素分割については，「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・同マニュアル」（土木学会原子力土木委員会，2002 年 5 月）に，線材モデルの要素分割については，要素長さを部材の断面厚さまたは有効高さの 2.0 倍以下とし，1.0 倍程度とするのが良い旨が示されていることを考慮し，部材の断面厚さまたは有効高さの 1.0 倍程度まで細分割して設定する。なお，地中連続壁基礎の要素分割については，重畳時の検討における余震影響としての地盤応答変位を地中連続壁基礎に設定することを考慮して，１次元有効応力解析で用いる地盤の要素分割に合わせて設定する。



第 3-4 図　鋼製防護壁上部構造のモデル化イメージ図

c.　地盤のモデル化

３次元静的フレーム解析に用いる地盤バネは「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に準拠し，地盤反力上限値を考慮したバイリニア型とする。

津波時の地盤バネの設定について第 3-10 表に示す。津波時については，地盤抵抗が大きいと仮定した地盤バネ１及び地盤抵抗が小さいと仮定した地盤バネ２の 2 ケースを考慮する。

第 3-10 表　３次元静的フレーム解析モデルにおける地盤バネの設定（津波時）

ケース名	地盤バネの バネ定数	地盤バネの 反力上限値	備考
地盤バネ１ （津波時）	初期せん断剛性 から設定	ピーク強度（平均）から設定	地盤抵抗が大きいと仮定したケース
地盤バネ２ （津波時）	静弾性係数 から設定	残留強度(-1σ)から設定	地盤抵抗が小さいと仮定したケース

d.　使用材料及び材料定数

強度計算に用いる材料定数は，適用基準類を基に設定する。構造物の使用材料を第 3-11 表に，材料物性値を第 3-12 表に示す。

第 3-11 表　使用材料

材料		諸元
コンクリート	頂版コンクリート （鉄筋コンクリート）	設計基準強度 50 N/mm^2
	中詰めコンクリート （鉄筋コンクリート）	
	地中連続壁基礎	設計基準強度 40 N/mm^2
	中実コンクリート （鉄筋コンクリート）	設計基準強度 40 N/mm^2
鉄筋		SD345，SD390，SD490
鋼材	鋼製防護壁	SS400，SM400，SM490， SM490Y，SM520B 相当， SM570，SBHS500

第 3-12 表　材料の物性値

材料		単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート	設計基準強度 50 N/mm^2 *1	24.5 *1	3.3×10^4 *1	0.2 *1	5*5
	設計基準強度 40 N/mm^2 *2	24.5 *2	3.1×10^4 *2	0.2 *2	
鋼材	SS400*3, SM400*3 SM490*3, SM490Y*3 SM520B 相当*4, SM570*3 SBHS500*7	77.0 *3*4	2.0×10^5 *3*4	0.3 *3*4	3*6

注記　＊1：道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）（（社）日本道路協会，平成 22 年 3 月）

＊2：コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（土木学会，2002 年制定）

＊3：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）

＊4：鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）

＊5：ＪＥＡＧ４６０１－1987（（社）日本電気協会）

＊6：道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）

＊7：道路橋示方書（Ⅱ鋼橋・鋼部材編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 29 年 11 月）

e.　地盤の物性値

地盤の諸定数は，添付書類「Ⅴ-2-1-3　地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の物性値を第 3-13 表に示す。

第 3-13 表 (1)　地盤の解析用物性値一覧（液状化検討対象層）

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系（液状化検討対象層）							
				fl	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	D1g-1	
物理特性	密度 （）は地下水位以浅	ρ	g/cm^3	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	－	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	－	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 （）は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m^2	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 （）は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m^2	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	－	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm^2	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	－	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	S_1	－	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	W_1	－	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	P_1	－	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	－	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	C_1	－	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.83	1.44

第 3-13 表 (2)　地盤の解析用物性値一覧（非液状化層）

パラメータ				原地盤					
				第四系（非液状化層）				新第三系	捨石
				Ac	D2c-3	lm	D1c-1*1	Km	
物理特性	密度 （）は地下水位以浅	ρ	g/cm^3	1.65	1.77	1.47 (1.43)	－	1.72-1.03×10^{-4}・z	2.04 (1.84)
	間隙比	e	－	1.59	1.09	2.8	－	1.16	0.82
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	－	0.10	0.22	0.14	－	0.16+0.00025・z	0.33
	基準平均有効主応力 （）は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m^2	480	696	249 (223)	－	動的変形特性に基づき z（標高）毎に物性値を設定	98
	基準初期せん断剛性 （）は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m^2	121829	285223	38926 (35783)	－		180000
	最大履歴減衰率	h_{max}	－	0.200	0.186	0.151	－		0.24
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm^2	0.025	0.026	0.042	－	0.358-0.00603・z	0.02
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	－	23.2+0.0990・z	35

注記　*1：施設の耐震評価に影響を与えるものではないことから，解析用物性値として本表には記載しない。

z：標高(m)

第 3-13 表 (3)　地盤の解析用物性値一覧（新第三系 Km 層）

区分番号	設定深度 TP(m) Z	適用深度 TP(m)	密度 ρ (g/cm³)	静ポアソン比 ν CD	粘着力 C CD (kN/m²)	内部摩擦角 φ CD (°)	せん断波速度Vs (m/s)	基準初期せん断剛性 Gma (kN/m²)	基準体積弾性係数 Kma (kN/m²)	基準平均有効主応力 σ'ma (kN/m²)	拘束圧依存係数 mG, mK	最大履歴減衰率 hmax(-)	動ポアソン比 ν d	疎密波速度Vp (m/s)
1	10	9.5 ～ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310,675	353,317	504	0.0	0.105	0.464	1,640
2	9	8.5 ～ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312,139	354,982	504	0.0	0.105	0.464	1,644
3	8	7.5 ～ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313,606	356,650	504	0.0	0.105	0.464	1,648
4	7	6.5 ～ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315,076	358,322	504	0.0	0.105	0.464	1,651
5	6	5.5 ～ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315,076	358,322	504	0.0	0.106	0.464	1,651
6	5	4.5 ～ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316,551	359,999	504	0.0	0.106	0.464	1,655
7	4	3.5 ～ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	318,028	361,679	504	0.0	0.106	0.463	1,638
8	3	2.5 ～ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642
9	2	1.5 ～ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642
10	1	0.5 ～ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320,993	365,051	504	0.0	0.107	0.463	1,646
11	0	-0.5 ～ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322,481	366,743	504	0.0	0.107	0.463	1,650
12	-1	-1.5 ～ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323,972	368,439	504	0.0	0.108	0.463	1,653
13	-2	-2.5 ～ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657
14	-3	-3.5 ～ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657
15	-4	-4.5 ～ -3.5	1.72	0.16	382	22.8	436	326,965	371,843	504	0.0	0.108	0.463	1,661
16	-5	-5.5 ～ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	328,467	373,551	504	0.0	0.109	0.462	1,644
17	-6	-6.5 ～ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648
18	-7	-7.5 ～ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648
19	-8	-8.5 ～ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	331,480	376,977	504	0.0	0.109	0.462	1,652
20	-9	-9.5 ～ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	332,992	378,697	504	0.0	0.110	0.462	1,656
21	-10	-11 ～ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	334,507	380,420	504	0.0	0.110	0.462	1,659
22	-12	-13 ～ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	336,026	382,147	504	0.0	0.110	0.462	1,663
23	-14	-15 ～ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	339,074	385,614	504	0.0	0.111	0.462	1,671
24	-16	-17 ～ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	340,603	387,352	504	0.0	0.111	0.461	1,654
25	-18	-19 ～ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	343,671	390,842	504	0.0	0.112	0.461	1,662
26	-20	-21 ～ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345,211	392,593	504	0.0	0.112	0.461	1,665
27	-22	-23 ～ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	348,300	381,471	498	0.0	0.112	0.461	1,673
28	-24	-25 ～ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	351,403	384,870	498	0.0	0.113	0.461	1,680
29	-26	-27 ～ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	352,959	386,574	498	0.0	0.113	0.460	1,664
30	-28	-29 ～ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	356,083	389,996	498	0.0	0.114	0.460	1,672
31	-30	-31 ～ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	357,650	391,712	498	0.0	0.114	0.460	1,675
32	-32	-33 ～ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	360,794	395,155	498	0.0	0.115	0.460	1,683
33	-34	-35 ～ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	362,371	396,883	498	0.0	0.115	0.459	1,667
34	-36	-37 ～ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	365,536	400,349	498	0.0	0.115	0.459	1,675
35	-38	-39 ～ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	367,124	402,088	498	0.0	0.116	0.459	1,678
36	-40	-41 ～ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	370,309	405,577	498	0.0	0.116	0.459	1,685
37	-42	-43 ～ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	371,907	407,327	498	0.0	0.117	0.459	1,689
38	-44	-45 ～ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	375,113	410,838	498	0.0	0.117	0.458	1,678
39	-46	-47 ～ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	376,721	412,599	498	0.0	0.117	0.458	1,681
40	-48	-49 ～ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	379,948	416,134	498	0.0	0.118	0.458	1,688
41	-50	-51 ～ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	385,416	422,122	498	0.0	0.118	0.458	1,696
42	-52	-53 ～ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	387,051	423,913	498	0.0	0.118	0.458	1,699
43	-54	-55 ～ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	390,331	427,505	498	0.0	0.118	0.457	1,688
44	-56	-57 ～ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	391,976	429,307	498	0.0	0.119	0.457	1,692
45	-58	-59 ～ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	395,277	432,922	498	0.0	0.119	0.457	1,699
46	-60	-61 ～ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	396,933	434,736	498	0.0	0.120	0.457	1,702
47	-62	-63 ～ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	400,255	422,491	492	0.0	0.120	0.457	1,709
48	-64	-65 ～ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	401,921	424,250	492	0.0	0.120	0.456	1,695
49	-66	-67 ～ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	405,263	427,778	492	0.0	0.120	0.456	1,702
50	-68	-69 ～ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	406,939	429,547	492	0.0	0.121	0.456	1,705
51	-70	-71 ～ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	410,302	433,097	492	0.0	0.121	0.456	1,712
52	-72	-73 ～ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	413,679	436,661	492	0.0	0.121	0.456	1,719
53	-74	-75 ～ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	415,373	438,449	492	0.0	0.122	0.455	1,705
54	-76	-77 ～ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	418,771	442,036	492	0.0	0.122	0.455	1,712
55	-78	-79 ～ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	420,475	443,835	492	0.0	0.122	0.455	1,716
56	-80	-81 ～ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	423,893	447,443	492	0.0	0.122	0.455	1,723
57	-82	-85 ～ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	425,608	449,253	492	0.0	0.123	0.455	1,726
58	-88	-90 ～ -85	1.73	0.14	889	14.5	501	434,232	458,356	492	0.0	0.124	0.454	1,726
59	-92	-95 ～ -90	1.73	0.14	913	14.1	504	439,448	463,862	492	0.0	0.124	0.454	1,736
60	-98	-101 ～ -95	1.73	0.14	949	13.5	509	448,210	473,111	492	0.0	0.125	0.453	1,736
61	-104	-108 ～ -101	1.73	0.13	985	12.9	513	455,282	463,485	486	0.0	0.126	0.452	1,733
62	-112	-115 ～ -108	1.73	0.13	1,033	12.1	519	465,995	474,391	486	0.0	0.127	0.451	1,737
63	-118	-122 ～ -115	1.73	0.13	1,070	11.5	524	475,016	483,575	486	0.0	0.127	0.451	1,754
64	-126	-130 ～ -122	1.73	0.13	1,118	10.7	530	485,957	494,713	486	0.0	0.128	0.450	1,758

f. 荷重

鋼製防護壁の津波時の評価において，考慮する荷重を以下に示す。

(a) 固定荷重（G）

固定荷重として，躯体自重を考慮する。

(b) 積載荷重（P）

積載荷重として，機器・配管自重を考慮する。

なお，考慮する機器・配管荷重は第 3-14 表のとおりである。

第 3-14 表　機器・配管荷重一覧表

機器	備考
スクリーン室クレーン	840 kN

(c) 遡上津波荷重（P_t）

遡上津波荷重については，防潮堤前面における最大津波水位標高と防潮堤設置地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし，朝倉式に基づき，その 3 倍を考慮して算定する。

(d) 衝突荷重（P_c）

衝突荷重として，第 3-15 表に示す 0.69 t 車両の FEMA (2012) *式による漂流物荷重を考慮する。

注記　＊：FEMA：Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

第 3-15 表　衝突荷重

	流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
基準津波時	11	759
T.P.＋24 m 津波時	15	1035

(e) 積雪荷重（P_s）

積雪荷重については，「建築基準法施行令第 86 条」及び「茨城県建築基準法施工細則第 16 条の 4」に従って，設定する。積雪の厚さ 1 cm 当たりの荷重を 20 $N/m^2/cm$ として，積雪量は 30 cm としていることから積雪荷重は 600 N/m^2 であるが，地震時短期荷重として積雪荷重の 0.35 倍である 0.21 kN/m^2 を考慮する。

(f) 風荷重（P_k）

津波時は海からの風荷重は受圧面となる防潮壁には作用しない。また，陸からの風荷重は考慮しない方が保守的である。したがって，陸からの風荷重は考慮しない。

g. 地下水位

地下水位は地表面として設定する。

(2) 評価方法

上記で示した津波時における鋼製防護壁の解析モデルを用いた評価方法を整理すると下記のとおりとなる。

a. 地中連続壁基礎

(a) 地中連続壁基礎

２次元動的有効応力解析によって得られる堤軸方向，堤軸直交方向それぞれの断面力に対して，鉄筋コンクリートの発生応力が許容限界以下であることを確認する。

(b) 地中連続壁基礎と中実鉄筋コンクリートの一体化

地中連続壁基礎と中実鉄筋コンクリートはスタッドで一体化するものとし，「トンネル標準示方書[共通編]・同解説／[開削工法編]・同解説」（（社）土木学会，2006制定）に基づき，スタッドの配置及びせん断力の照査を実施する。

配置するスタッドは，接合面に作用する全設計せん断力に対し，必要な強度となる本数及び設置間隔に設計する。設計検討は次式による。

$$\gamma_a\gamma_b\gamma_i\frac{V}{V_u} \leq 1.0, V_u = V_{ug} + V_{ul}$$

$$V_{ug} = \frac{\mu(nf_{syd}A_{sg}+\sigma_N A_{cg})}{\gamma_c}, V_{ul} = \frac{\mu\sigma_N A_{ul}}{\gamma_c}$$

ここで，

V ： 接合面に作用する全設計せん断力（$= V_o + V_B$）

V_o ： 鉛直せん断力

V_B ： 接合面区間に生じる区間のずれせん断力

V_u ： 接合面における全せん断耐力

V_{ug} ： スタッド配置区間の全せん断耐力

V_{ul} ： スタッド配置区間以外のコンクリートの接合面におけるせん断耐力

μ ： 摩擦係数（1.4 程度：地中連続壁面は洗浄し，レイタンスを取り除き，深さ 7 ㎜程度の粗さとした場合）

n ： スタッドの本数（単位幅当たり）

f_{syd} ： スタッドの設計引張降伏強度

σ_N ： 接合面に作用する垂直応力度（地中連続壁に作用する側圧等の外力）

A_{sg} ： スタッド１本当たりの断面積

A_{cg} ： スタッド配置区間の全面積（面積の境界は，最外縁の鉄筋から鉄筋間隔の半分程度の距離まで）

A_{ul} ： スタッド配置区間以外のコンクリート面積(地中連続壁の接合処理面処理を行う部分のみ)

γ_a，γ_i ： 安全係数

γ_b ： 部材係数で一般に 1.3

γ_c ： コンクリート材料係数

b. 鋼製防護壁

(a) 鋼製防護壁

地中連続壁基礎と一体となった３次元モデルに津波荷重等を載荷して評価する。

(b) 補剛材

ア. 補剛材の評価

主構断面となる隔壁には，「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）の規定に基づいた必要剛度を満たす補剛材を配置し，主部材の座屈に対する安全性を確保する。

イ. 主構断面の座屈照査

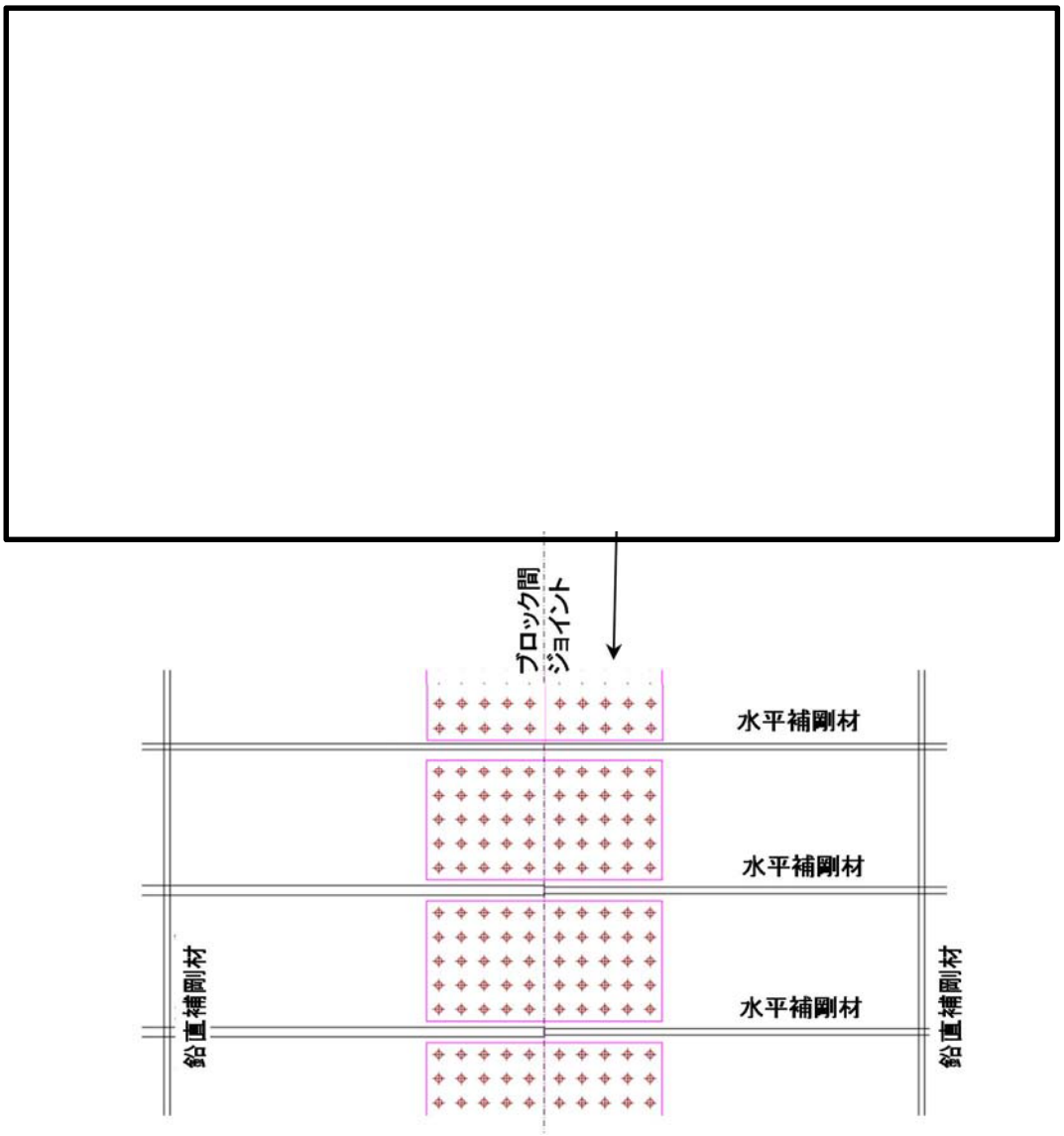
主構断面となる隔壁は，「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）の解説に基づいて座屈に対する安全照査を実施し，補剛材の追加配置の必要性を確認する。

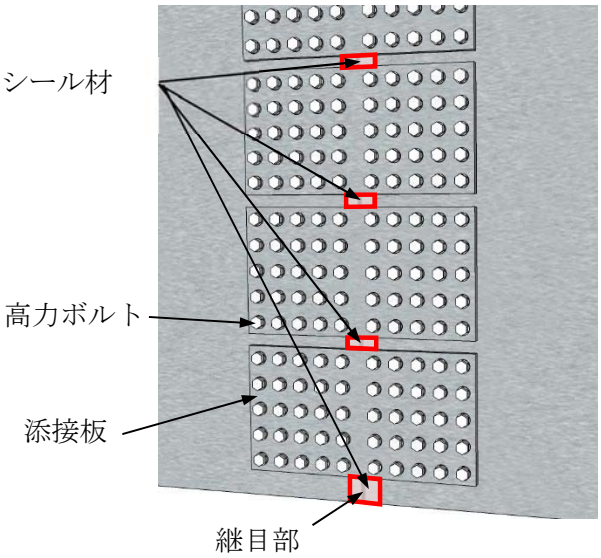
(c) 添接板継手部

鋼殻ブロックの添接板継手部は高力ボルトによる摩擦接合方式とし，「道路橋示方書・同解説 （Ⅱ鋼橋編）7.3」に基づき評価する。

母材に作用するせん断力及び曲げモーメントに対して，継手部の孔引き後の母材，添接板及び高力ボルトの安全性を照査する。また，せん断力と曲げモーメントが同時に作用するため，合成応力に対しての安全性の照査も実施する。

鋼殻ブロックの添接板継手部イメージを第 3-5 図に示す。





第 3-5 図　鋼殻ブロックの添接板継手部イメージ

(d)　中詰め鉄筋コンクリートと鋼殻との接合部

鋼製防護壁は，外壁と水平及び鉛直隔壁部材のみで荷重を受け持つ設計とするが，頂版鉄筋コンクリートとの接合部においては，後述の通り，水平回転モーメント（水平トルク）及び水平力によるせん断力に対しては，設計上アンカーボルトの抵抗力を期待せず，鉄筋コンクリートのみで負担可能とする。したがって，鋼製防護壁（上部構造）に作用する荷重を中詰め鉄筋コンクリートから頂版鉄筋コンクリートへ確実に伝達するために，上部構造の鋼殻と中詰め鉄筋コンクリートを一体化する。

以上より，中詰め鉄筋コンクリート部の接合部は，荷重伝達のためのずれ止めとしてスタッドを配置して，コンクリートと鋼殻を一体化する。スタッドの許容せん断力は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき次式により算定する。

$$Q_a = 9.4d^2\sqrt{\sigma_{ck}} \quad (H/d \geq 5.5)$$

$$Q_a = 1.72dH\sqrt{\sigma_{ck}} \quad (H/d < 5.5)$$

ここで，

Q_a　：スタッドの許容せん断力（N/本）

d　：スタッドの軸径（mm）

H　：スタッドの全高，150mm 程度を標準とする（mm）

σ_{ck}　：コンクリートの設計基準強度（＝50 N/mm^2）

c. 鋼製防護壁（接合部）

(a) 設計思想

アンカーボルトは本来，引抜き力及びせん断力に抵抗できる部材であることから，「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」の「7.2 アンカー部の設計方法」においては，アンカーボルトに水平方向のせん断力も許容限界以下で受けもたせる設計方法となっている。

一方，鋼製防護壁においては，保守的な配慮として，接合部の水平回転モーメント（水平トルク）及び水平力によるせん断力に対しては設計上アンカーボルトの抵抗力を期待せず，接合部の水平回転モーメント及び水平力によるせん断力に対しては，設計上鉄筋コンクリートのみの耐力でも弾性範囲内で負担可能とする。

(b) 接合部の設計方針

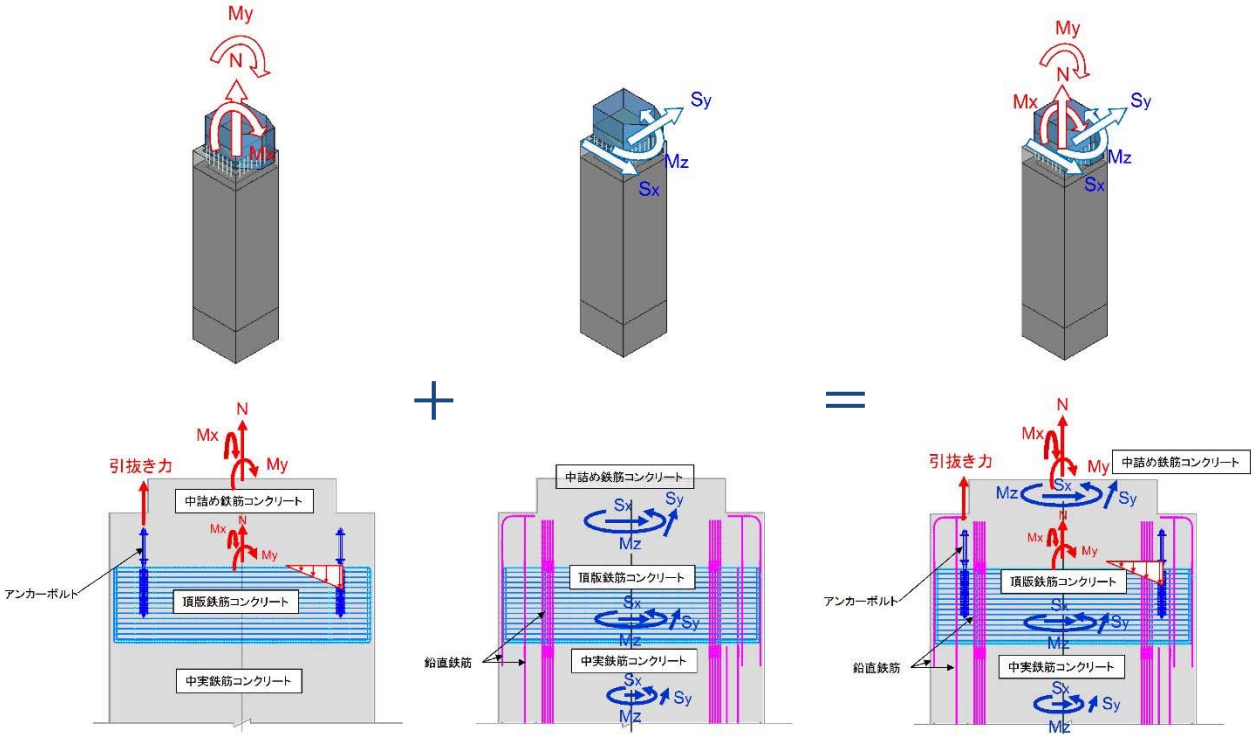
鋼製防護壁は浸水防護施設であることから，地震時，津波時，余震と津波の重畳時の何れに対しても，構造部材の弾性範囲内で設計を行う。

鋼製防護壁本体の自重及び地震や津波による設計荷重を確実に基礎へ伝達させる。

引抜き力に対しては，「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」を適用し設計上アンカーボルトのみで負担可能とする。

水平回転モーメントと水平力によるせん断力に対しては，「道路橋示方書（日本道路協会）」，「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（土木学会）」に基づき設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみで負担可能とする。

接合部の荷重分担の概念図を第 3-6 図に示す。



第 3-6 図　接合部の荷重分担の概念図

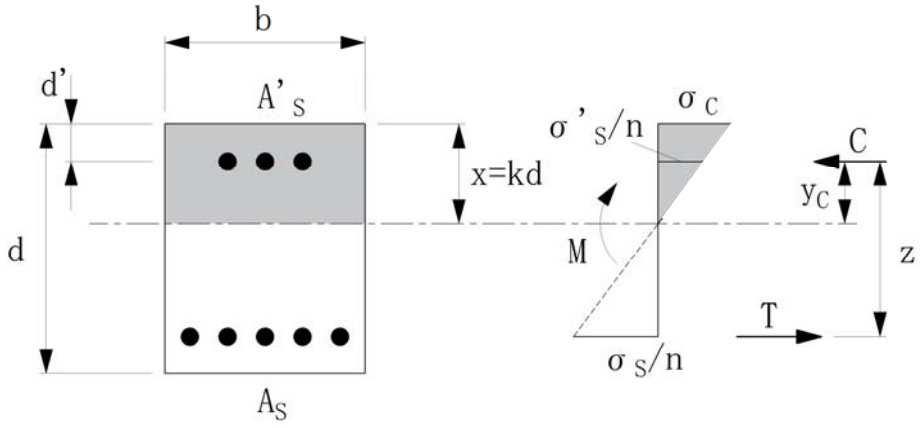
(c) 接合部の評価

接合部のアンカーボルトに対しては，２軸複鉄筋断面の鉄筋コンクリート断面として評価する。鋼製防護壁と基礎との接合部は，鉛直軸力と面内，面外曲げモーメントに対して抵抗するものとし，せん断力と水平回転モーメントについては，基礎と一体の中詰め鉄筋コンクリートで負担する。

アンカーボルトの設計荷重は，鋼製防護壁上部構造の３次元動的フレーム解析から算定されるアンカーボルト１本当たりの付着力と押込力とし，アンカーボルトの引張応力，付着応力及びコーンせん断が許容限界以下であることを確認する。

ア．アンカーボルトの設計定着長及び埋込長

アンカーボルトの許容応力度と母材の断面積をもとに算定する。２軸複鉄筋断面の鉄筋コンクリート断面を第 3-7 図に示す。



第 3-7 図　２軸複鉄筋断面の鉄筋コンクリート断面

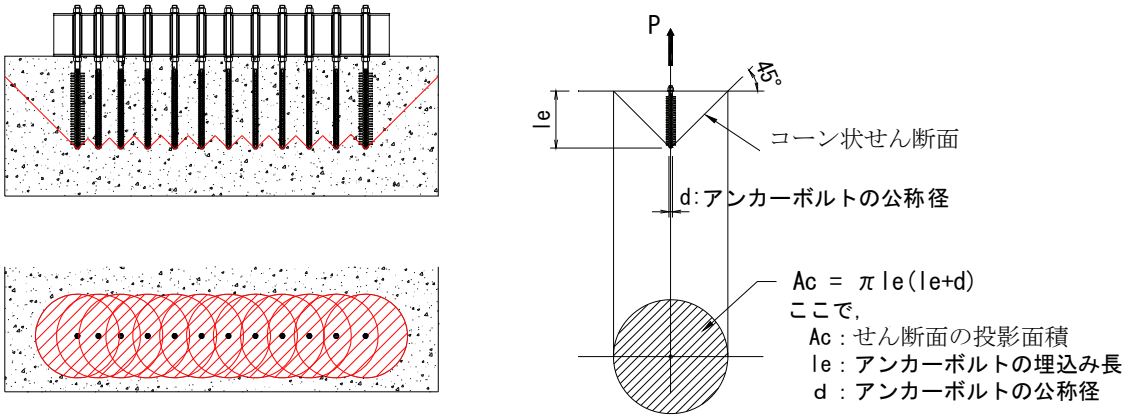
σ_c：任意位置のコンクリート応力度（N/mm^2）
σ_s：各段の鉄筋応力度（N/mm^2）（引張り側）
σ'_s：各段の鉄筋応力度（N/mm^2）（圧縮側）
A_s：各段の鉄筋断面積（mm^2）（引張り側）
A'_s：各段の鉄筋断面積（mm^2）（圧縮側）
d ：桁高（mm）
d’：かぶり（mm）
x ：コンクリート上面から中立軸までの距離（mm）
k ：中立軸係数
n ：ヤング係数比
c ：圧縮力（N）
T ：引張力（N）
M ：曲げモーメント（N・mm）

イ．定着部コーンせん断に対する評価

定着部のコンクリートのコーンせん断に対する評価における設計荷重は，鋼製防護壁上部構造の３次元動的フレーム解析算定されるアンカーボルト１本当たりの付着力とする。定着部のコーンせん断の照査を行い，補強鉄筋が必要な場合には適切な鉄筋量を算定する。

コーンせん断は付着力に対して発生するため，照査はアンカーボルトの付着力またはアンカーボルトの許容応力度と母材の断面積の 75 %を比較し，断面力の大きいものを用いて実施する。コーンせん断面の有効水平投影面積には，アンカー同士の近接を考慮し，定着部鉄筋コンクリートの応力が許容限界以下であることを確認する。

コーンせん断面の有効水平投影面積を第 3-8 図に示す。



第 3-8 図　アンカーが近接する場合の有効水平投影面積

ウ．アンカーボルトの埋め込み長，定着長に対する評価

アンカーボルトの埋め込み長L_{eq}及び定着長L_{ed}は付着強度によって決定する。アンカーボルトの埋め込み長，定着長の概念図を第 3-9 図に示す。

$L_{eq} = \sigma_{sa} \cdot Ab/\tau_a \cdot \pi \cdot D$（定着長）

$L_{ed} = L_{eq} + 2D$（埋め込み長）

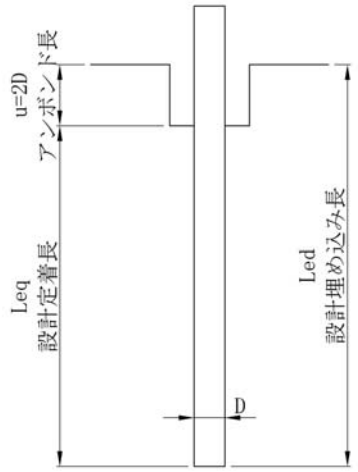
ここで，

σ_{sa}　：　アンカーボルトの短期許容応力度（N/mm^2）

τ_a　：　短期許容付着応力度（N/mm^2）

Ab　：　アンカーボルトの有効断面積（mm^2）

D　：　アンカーボルトの公称径（mm）



第 3-9 図　アンカー埋め込み長，定着長の概念図

d.　基礎地盤の支持性能評価

津波時における基礎地盤の支持性能に係る評価は，基礎地盤に生じる接地圧が地震時及び重畳時に包絡されると考えられることから実施しない。

e.　止水ジョイント部材

本震後の津波時における変形量が許容限界以下であることを確認する。

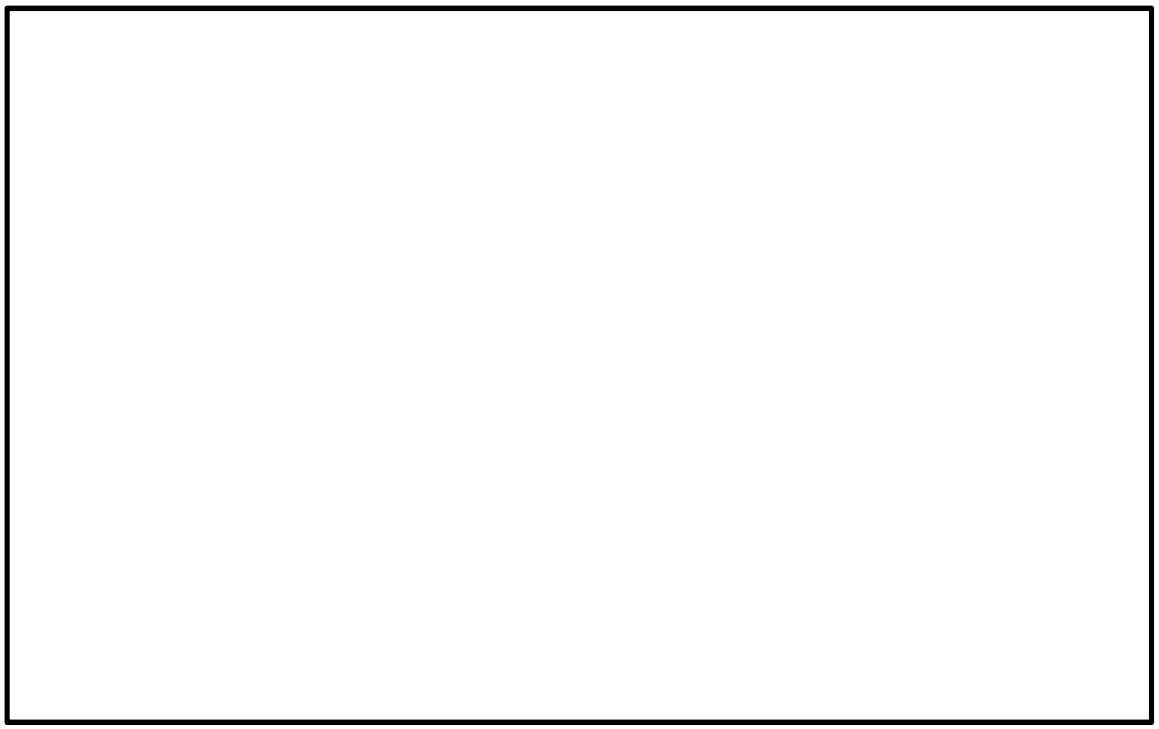
3.5.2　重畳時

鋼製防護壁の重畳時の評価に用いる解析モデル及び評価方法を以下に示す。

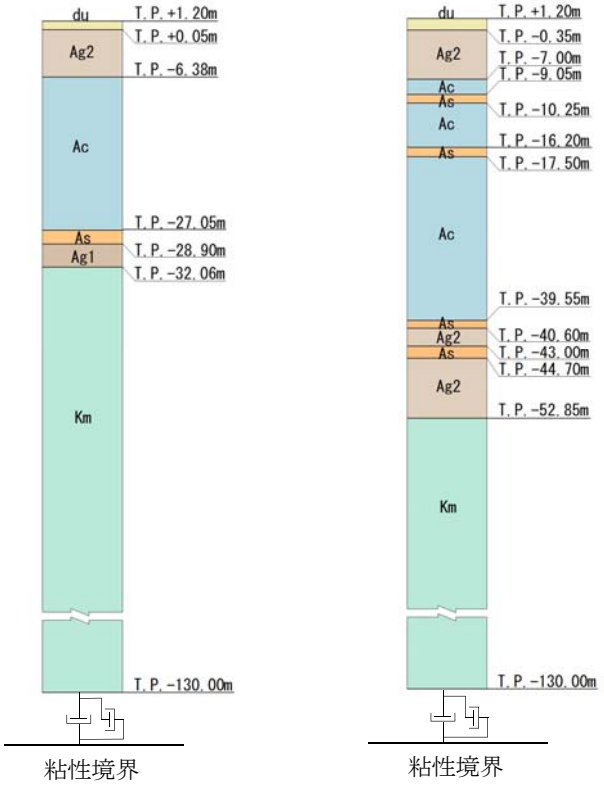
(1)　１次元有効応力解析

a.　解析方法

１次元有効応力解析モデル底面は T.P.−130　m とし，構造物中心位置の地層構成に基づき作成した地盤モデルを用いる。解析モデル底面には,T.P.−130　m 位置の密度，せん断波速度及び疎密波速度を有する粘性境界を設定する。１次元有効応力解析には解析コード「FLIP　Ver.　7.3.0_2」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，添付書類「Ⅴ-5-10　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＦＬＩＰ」に示す。１次元有効応力解析実施位置図を第 3-10 図に，１次元有効応力解析モデル概念図を第 3-11 図に示す。



第 3-10 図　１次元有効応力解析実施位置図



第 3-11 図　１次元有効応力解析モデル概念図（左：地点①，右：地点②）

(a)　地盤のモデル化

地盤は，マルチスプリング要素及び間隙水圧要素にてモデル化し，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

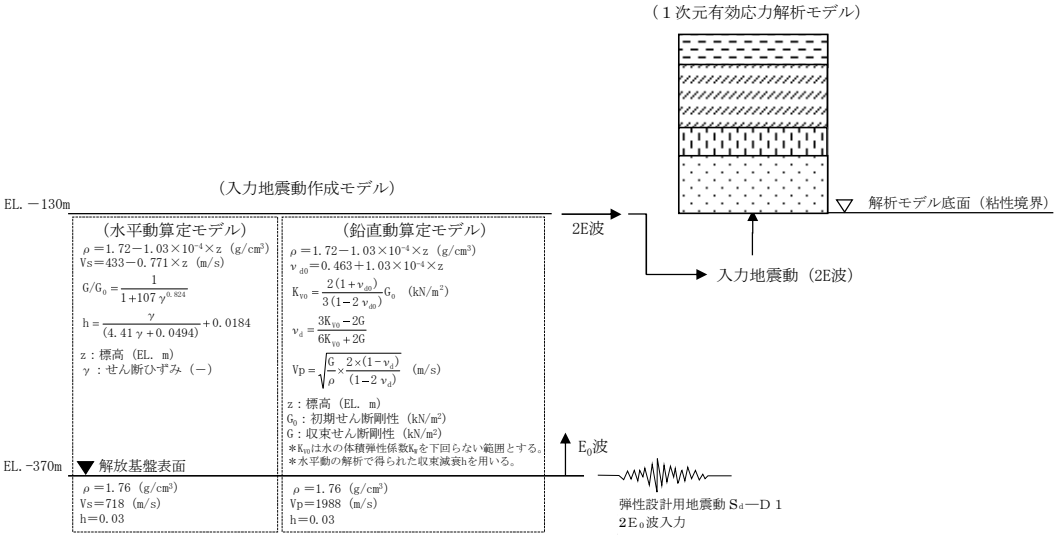
(b)　減衰定数

固有値解析により求められる固有振動数及び初期減衰定数に基づく要素剛性比例型減衰を考慮する。また，非線形特性をモデル化する地盤の履歴減衰を考慮する。

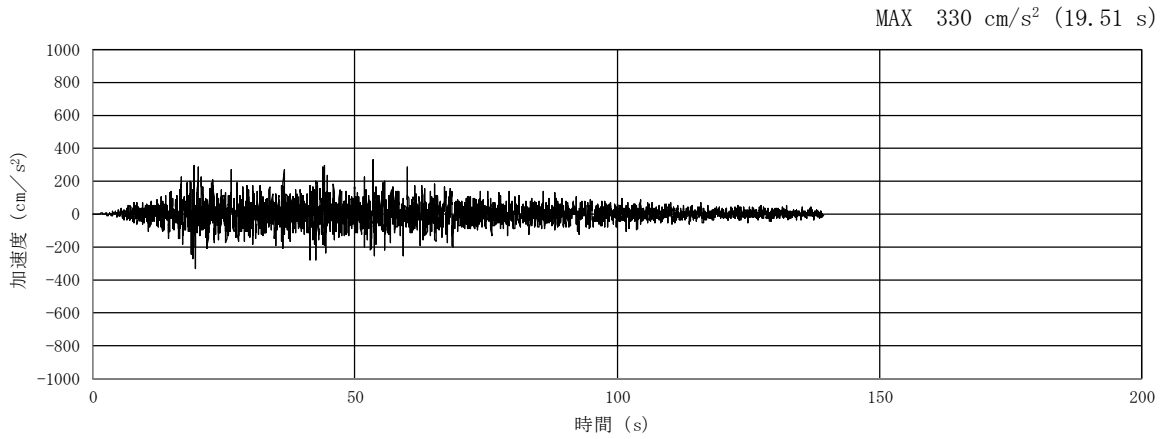
b.　入力地震動

入力地震動は，添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」のうち「2.3　屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

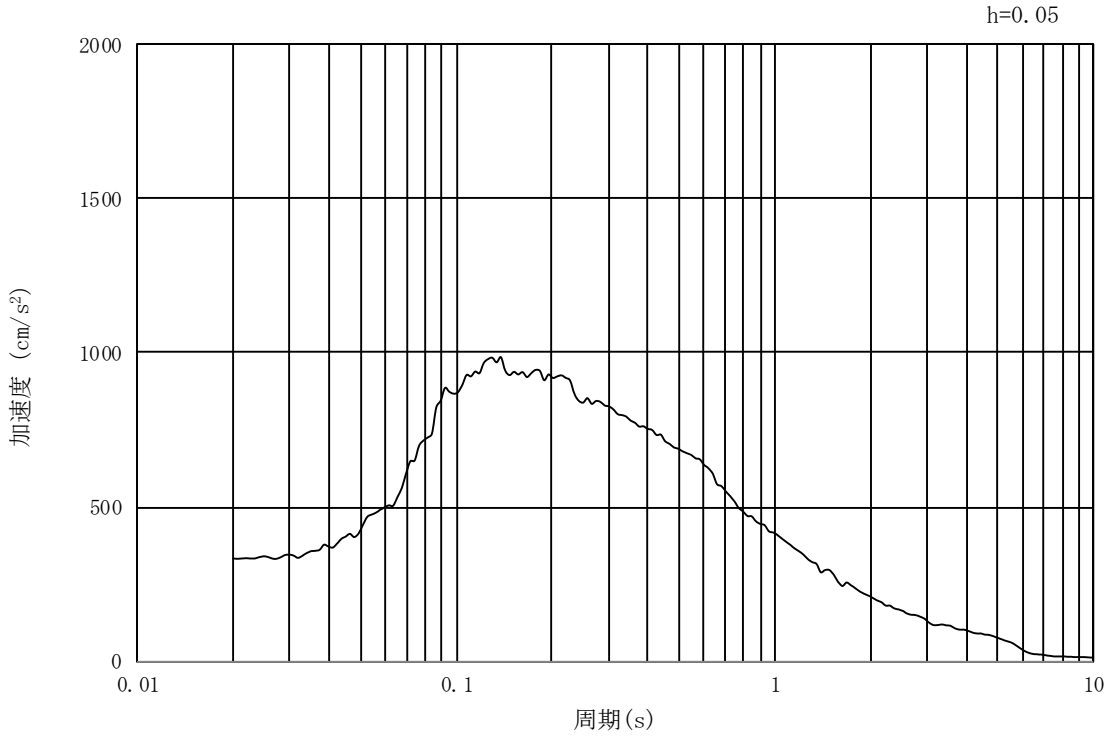
有効応力解析に用いる入力地震動は，解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動Ｓ$_{d}$－Ｄ１を１次元波動論により有効応力解析モデル底面位置で評価したものを用い，水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。入力地震動の算定には，解析コード「k-SHAKE　Ver.　6.2.0」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，添付書類「Ⅴ-5-25　計算機プログラム（解析コード）の概要・ｋ－ＳＨＡＫＥ」に示す。入力地震動算定の概念図を第 3-12 図に，加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 3-13 図に示す。



第 3-12 図　入力地震動算定の概念図

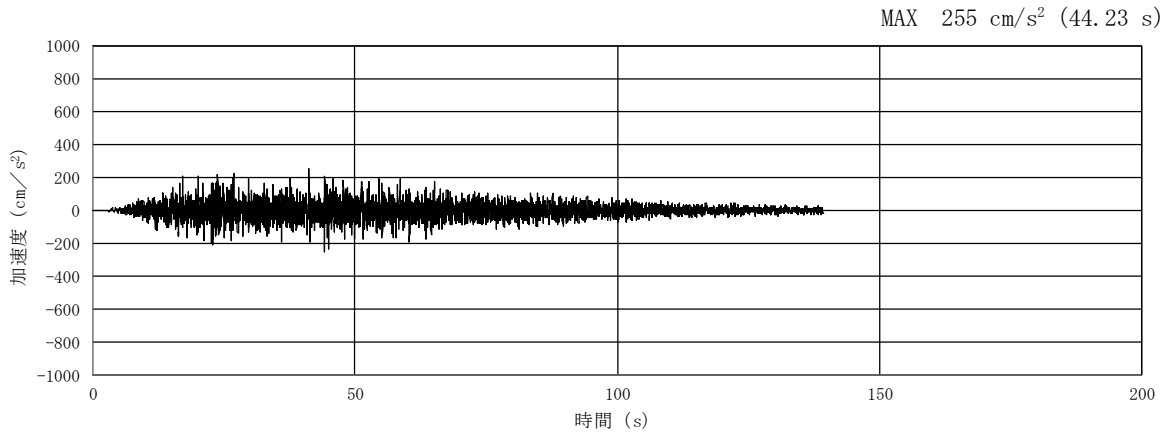


(a) 加速度時刻歴波形

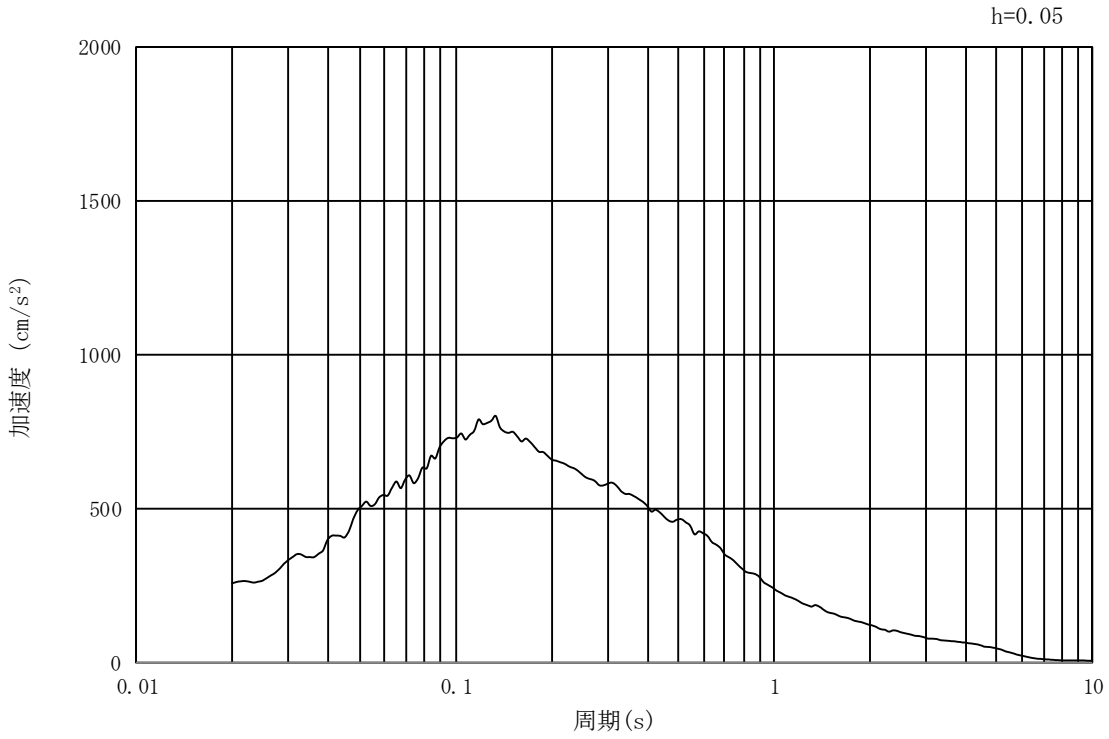


(b) 加速度応答スペクトル

第 3-13 図 (1)　入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(①－①及び②－②断面，水平成分：S_d－Ｄ１)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

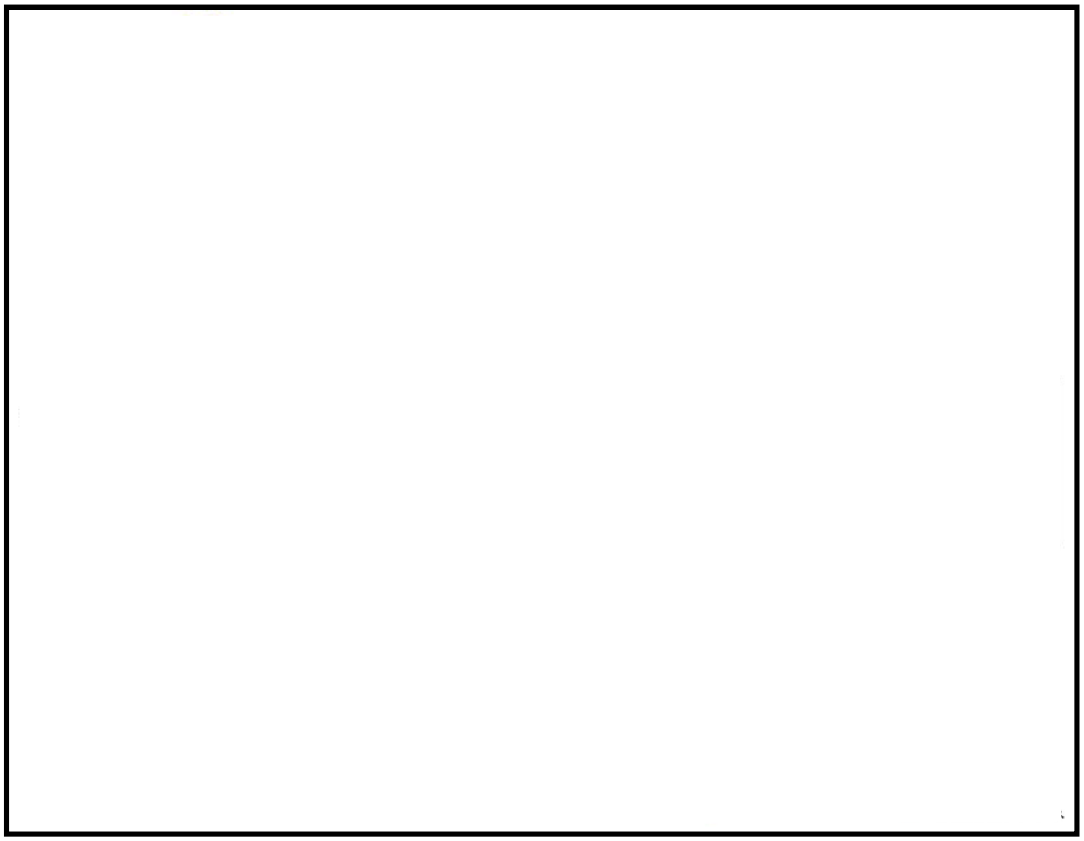
第 3-13 図 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(①－①及び②－②断面，鉛直成分：S_d－Ｄ１)

(2)　解析モデル及び諸元

a.　鋼製防護壁の解析モデル

(a)　解析モデル

重畳時における鋼製防護壁も津波時と同様に上部構造と下部構造を一体とした３次元フレームモデルで強度評価を行う。重畳時の鋼製防護壁の３次元静的フレーム解析モデル概念図を第 3-14 図に示す。３次元静的フレーム解析には解析コード「Engineer's Studio Ver.6.00.04」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，添付書類「Ⅴ-5-39　計算機プログラム（解析コード）の概要・Ｅｎｇｉｎｅｅｒ’ｓ　Ｓｔｕｄｉｏ」に示す。



注記　＊1：基礎底面の鉛直（面直）方向地盤バネ
　　基礎前面の水平（面直）方向地盤バネ
　　＊2：基礎底面の水平方向地盤バネ
　　基礎側面の水平方向地盤バネ
　　基礎前背面の水平及び鉛直方向地盤バネ
　　基礎側面の鉛直方向地盤バネ

第 3-14 図　鋼製防護壁の重畳時の３次元静的フレーム解析モデル概念図

(b)　構造物のモデル化

「3.5.1　津波時」と同様に設定する。

(c) 地盤のモデル化

３次元静的フレーム解析に用いる地盤バネは，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に準拠し，地盤のバネ定数と反力上限値を考慮したバイリニア型とする。

重畳時の検討では，第 3-16 表に示した解析ケースのうち，地表面最大加速度，地表面最大変位及び最大せん断ひずみが発生する各解析ケースに着目し，地表面の最大加速度発生時刻，地表面最大変位発生時刻及び最大せん断ひずみ発生時刻それぞれにおける地盤の平均有効主応力σ_m'及びせん断ひずみγの深度分布に基づき，地盤反力係数及び反力上限値を設定する。２次元静的フレーム解析で考慮する地盤バネを第 3-17 表に示す。

第 3-16 表　３次元静的フレーム解析における１次元有効応力解析検討ケース

検討ケース		① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮（－１σ）した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波	S_d－Ｄ１	1	1	1	1	1	1
計		1	1	1	1	1	1

＊上記のケースより，地表面加速度最大ケース，地表面変位最大ケース及びせん断ひずみ最大ケースを選定して地盤バネを設定する。

第 3-17 表　地盤バネケース

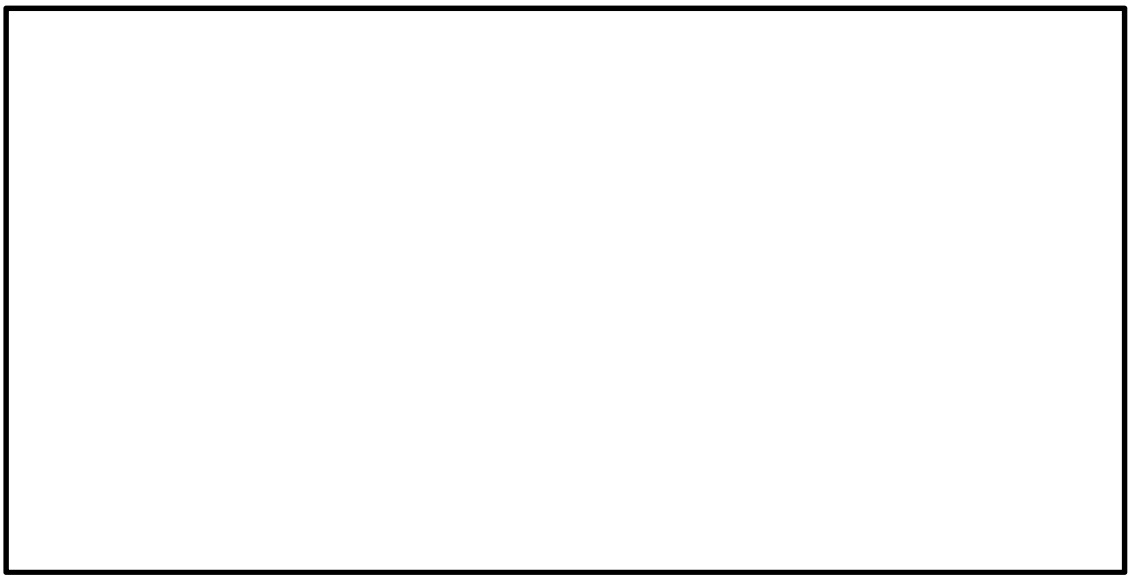
ケース名	地盤バネのバネ定数及び 反力上限値	備考
地盤バネ３	S_d波による１次元有効応力解析から 地表面応答加速度が最大となる地盤物性により設定	地盤抵抗が 大きいケース
地盤バネ４	S_d波による１次元有効応力解析から 地表面応答変位が最大となる地盤物性により設定	地盤抵抗が 小さいケース
地盤バネ５	S_d波による１次元有効応力解析から せん断ひずみが最大値を示す地盤物性により設定	

b.　基礎地盤の支持力

重畳時の基礎地盤の支持性能に係る評価は，Ｓ$_{d}$－Ｄ１を入力地震動とした２次元有効応力解析で発生する基礎地盤の接地圧に，津波波圧及び動水圧を作用させた２次元静的ＦＥＭ解析により得られる接地圧を加えた値が許容限界以下であることを確認する。

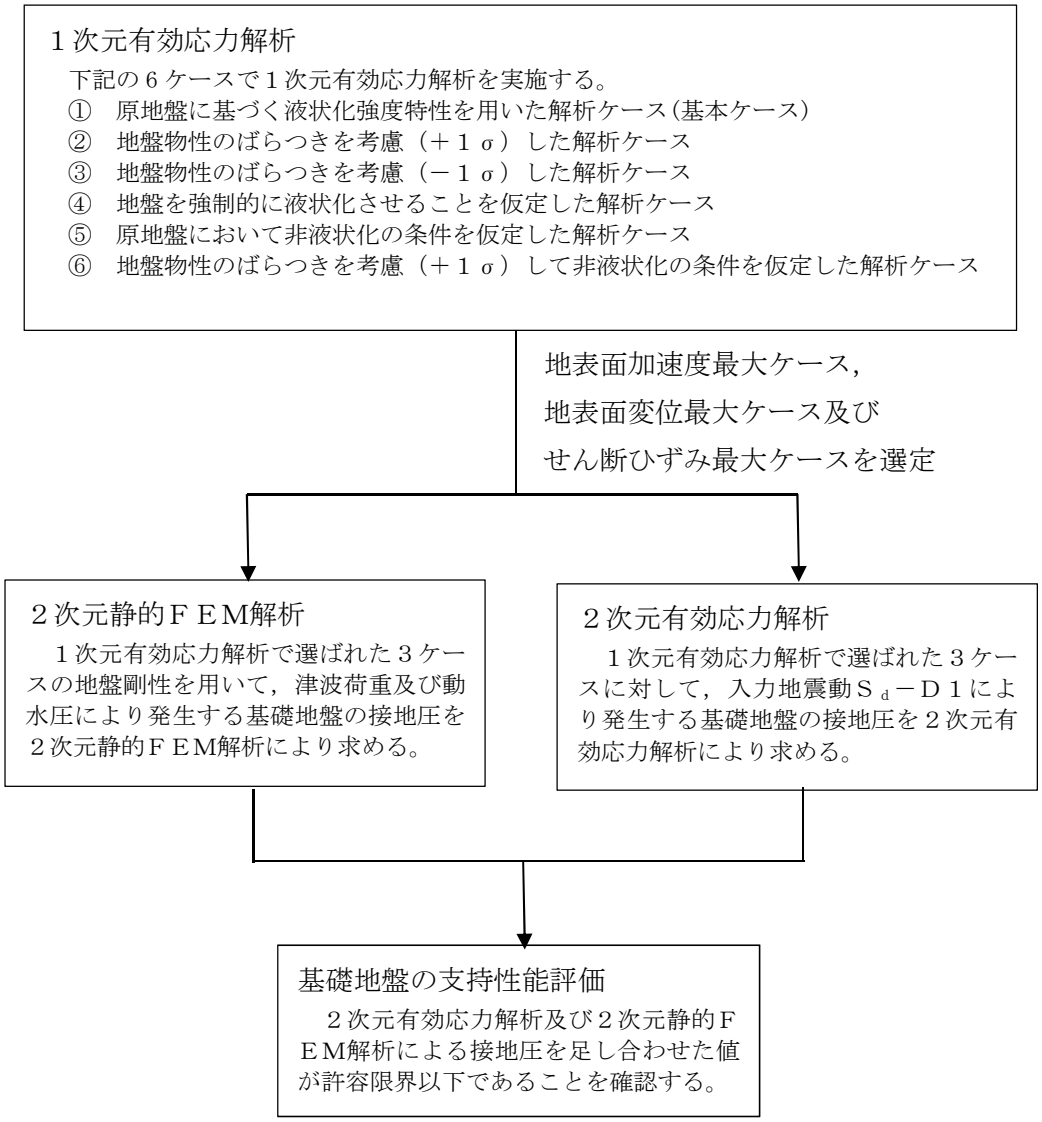
入力地震動Ｓ$_{d}$－Ｄ１により発生する基礎地盤の接地圧は，「3.5.2　重畳時（1）１次元有効応力解析」で実施した解析ケースのうち，地表面加速度最大ケース，地表面変位最大ケース及びせん断ひずみ最大ケースの３つの解析ケースに対して，２次元有効応力解析を実施して求める。２次元有効応力解析に使用する解析モデルは，添付書類「Ⅴ-2-10-2-2-1　防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書」に記載する２次元有効応力解析モデルに，保守的に仮定した沈下量1.5 ｍを考慮した解析モデルを使用し，入力地震動以外の解析条件は同じとする。

津波波圧及び動水圧による接地圧も，同じ３つのケースに対応する地盤剛性を用い２次元静的ＦＥＭ解析を実施し求める。２次元静的ＦＥＭ解析に使用する解析モデルは，添付書類「Ⅴ-2-10-2-2-1　防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書」に記載する２次元有効応力解析モデルに，沈下量1.5ｍを考慮した解析モデルを使用し，第3-15 図に示すように，側方境界条件を水平ローラ，底面境界条件を固定として津波波圧及び動水圧を作用させる。



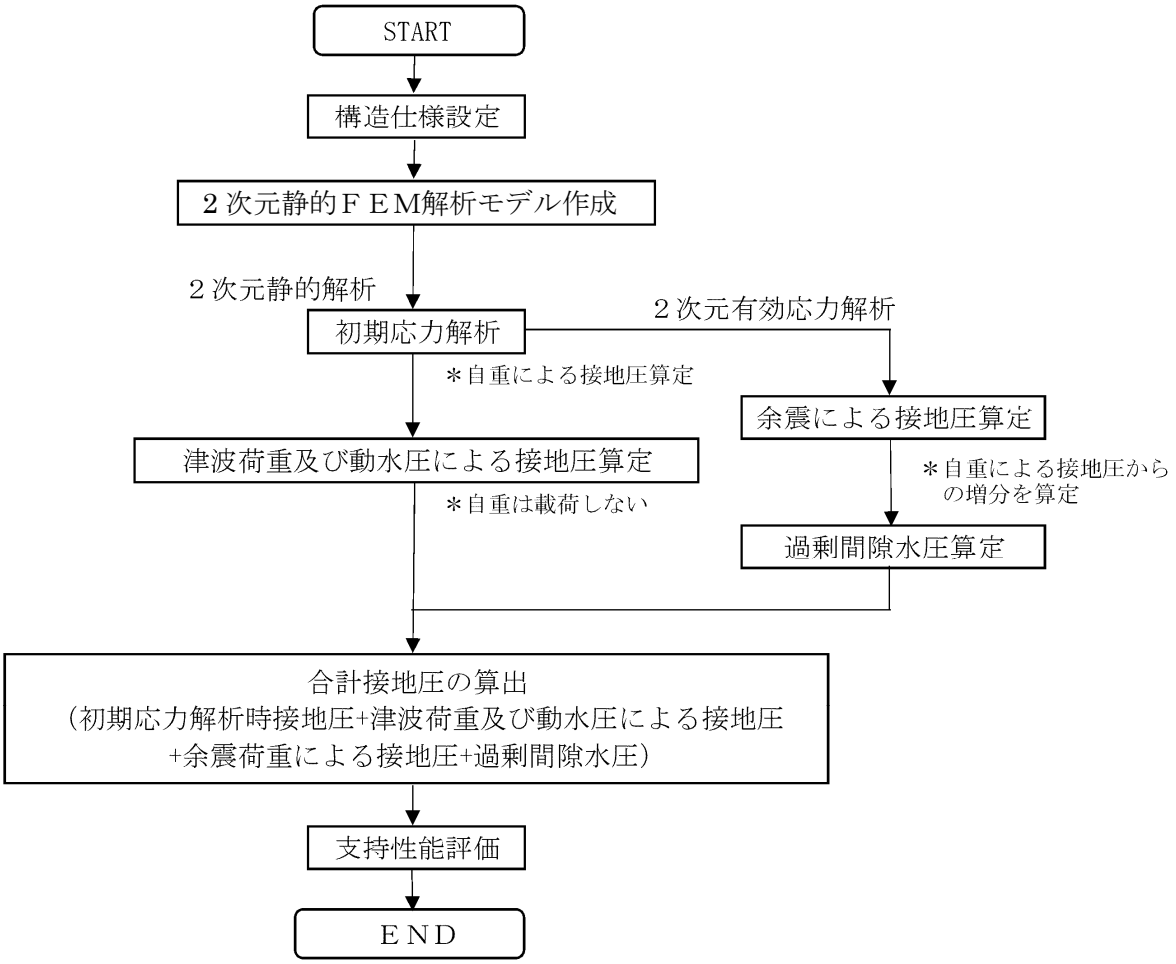
第3-15図　２次元静的ＦＥＭ解析モデル

同じ地盤剛性同士の解析ケースの結果で，余震荷重による接地圧，津波荷重及び動水圧による接地圧を足し合わせた値により，基礎地盤の支持性能を評価する。基礎地盤の支持性能評価フローを第 3-16 図に，接地圧の算出フローを第 3-17 図に示す。



＊上記の２次元有効応力解析及び２次元静的ＦＥＭ解析は，同じ地盤剛性同士の解析ケースで実施する。

第 3-16 図　基礎地盤の支持性能評価フロー



第 3-17 図　接地圧の算出フロー

c.　使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は「3.5.1　津波時」と同様に設定する。

d.　地盤の物性値

地盤の物性値は「3.5.1　津波時」と同様に設定する。

e.　荷重

鋼製防護壁の津波時の評価において，考慮する荷重を以下に示す。

(a)　固定荷重（G）

固定荷重として，躯体自重を考慮する。

(b)　積載荷重（P）

積載荷重として，機器・配管自重を考慮する。

なお，考慮する機器・配管荷重は第 3-18 表のとおりである。

第 3-18 表　機器・配管荷重一覧表

機器	備考
スクリーン室クレーン	840 kN

(c)　遡上津波荷重（P_t）

遡上津波荷重については，防潮堤前面における最大津波水位標高と防潮堤設置地盤標高の差分の 3／2 倍を考慮して算定する。

(d)　余震荷重（K_{Sd}）

余震荷重として，弾性設計用地震動S_d－Ｄ１による地震力及び動水圧を考慮する。

重畳時は，余震荷重として水平慣性力，鉛直慣性力及び応答変位を考慮する。地表面の最大加速度から水平震度及び鉛直震度を算定し，積雪荷重に対応する慣性力を作用させる。

(e)　積雪荷重（P_s）

積雪荷重については，「建築基準法施行令第 86 条」及び「茨城県建築基準法施工細則第 16 条の 4」に従って，設定する。積雪の厚さ 1 cm 当たりの荷重を 20 N/m^2/cm として，積雪量は 30 cm としていることから積雪荷重は 600 N/m^2 であるが，地震時短期荷重として積雪荷重の 0.35 倍である 0.21 kN/m^2 を考慮する。

(f)　風荷重（P_k）

津波時は海からの風荷重は受圧面となる防潮壁には作用しない。また，陸からの風荷重は考慮しない方が保守的である。したがって，陸からの風荷重は考慮しない。

f.　地下水位

地下水位は「3.5.1　津波時」と同様に設定する。

(3) 評価方法

鋼製防護壁の強度評価は，解析結果より得られる照査用応答値が「3.4　許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

a. 地中連続壁基礎

(a) 地中連続壁基礎

地盤バネを設定した３次元静的フレーム解析モデルに津波荷重や余震荷重を考慮して評価する。地中連続壁基礎の評価は「3.5.1　津波時」と同じ方法により，許容限界以下であることを確認する。

(b) 地中連続壁基礎と中実鉄筋コンクリートの一体化

地中連続壁基礎と中実鉄筋コンクリートの一体化の重畳時の評価は「3.5.1　津波時」と同じ方法により安全照査を実施する。

b. 鋼製防護壁

(a) 鋼製防護壁

地中連続壁基礎と一体となった３次元静的フレーム解析モデルに津波荷重や余震荷重を考慮して評価する。鋼製防護壁の評価は「3.5.1　津波時」と同じ方法により，許容限界以下であることを確認する。

(b) 補鋼材

補鋼材の重畳時の評価は「3.5.1　津波時」と同じ方法により，許容限界以下であることを確認する。

(c) 添接板継手部

添接板継手部の重畳時の評価は「3.5.1　津波時」と同じ方法により，許容限界以下であることを確認する。

(d) 中詰めコンクリートと鋼殻との接合部

中詰めコンクリートと鋼殻との接合部の重畳時の評価は「3.5.1　津波時」と同じ方法により，許容限界以下であることを確認する。

c. 鋼製防護壁（接合部）

地盤バネを設定した３次元静的フレーム解析モデルに津波荷重や余震荷重等を考慮して評価する。鋼製防護壁アンカーの評価は「3.5.1　津波時」と同じ方法により，許容限界以下であることを確認する。

d. 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能に係る評価は，S_d－Ｄ１を入力地震動とした２次元ＦＥＭ有効応力解析で発生する基礎地盤の接地圧に，津波波圧及び動水圧を作用させた２次元ＦＥＭ有効応力解析より得られる接地圧を加えて許容限界以下であることを確認する。

e.　止水ジョイント部材

止水ジョイント部材の重畳時の評価は，本震後の余震と津波の重畳時における変形量が許容限界以下であることを確認する。

4. 評価条件

「3. 評価方法」に用いる評価条件を以下の第 4-1 表から第 4-10 表に示す。

(1) 津波時

第 4-1 表 強度評価に用いる条件（基準津波時：地盤バネ１）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	8.35	m
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	鋼製防護壁底面における波圧強度	237.9	kN/m^2
p_2	鋼製防護壁天端面における波圧強度	63.1	kN/m^2
G	固定荷重	732117	kN
P	積載荷重	840	kN
P_s	積雪荷重	0.6	kN
P_t	遡上津波荷重	2971.3	kN/m
P_c	衝突荷重	759	kN
P_d	動水圧合力	―	kN/m
y	動水圧の作用高さ	―	m
K_{Sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
P_k	風荷重	―	kN/m^2

第 4-2 表　強度評価に用いる条件（基準津波時：地盤バネ２）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	8.35	m
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	鋼製防護壁底面における波圧強度	237.9	kN/m^2
p_2	鋼製防護壁天端面における波圧強度	63.1	kN/m^2
G	固定荷重	732117	kN
P	積載荷重	840	kN
P_s	積雪荷重	0.6	kN
P_t	遡上津波荷重	2971.3	kN/m
P_c	衝突荷重	759	kN
P_d	動水圧合力	―	kN/m
y	動水圧の作用高さ	―	m
K_{Sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
P_k	風荷重	―	kN/m^2

第 4-3 表　強度評価に用いる条件（T.P.＋24 m 津波時：地盤バネ１）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	11.40	m
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	鋼製防護壁底面における波圧強度	330.3	kN/m^2
p_2	鋼製防護壁天端面における波圧強度	155.5	kN/m^2
G	固定荷重	732117	kN
P	積載荷重	840	kN
P_s	積雪荷重	0.6	kN
P_t	遡上津波荷重	4708.5	kN/m
P_c	衝突荷重	1035	kN
P_d	動水圧合力	―	kN/m
y	動水圧の作用高さ	―	m
K_{Sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
P_k	風荷重	―	kN/m^2

第 4-4 表　強度評価に用いる条件（T.P.＋24 m 津波時：地盤バネ２）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	11.40	m
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	鋼製防護壁底面における波圧強度	330.3	kN/m^2
p_2	鋼製防護壁天端面における波圧強度	155.5	kN/m^2
G	固定荷重	732117	kN
P	積載荷重	840	kN
P_s	積雪荷重	0.6	kN
P_t	遡上津波荷重	4708.5	kN/m
P_c	衝突荷重	1035	kN
P_d	動水圧合力	―	kN/m
y	動水圧の作用高さ	―	m
K_{Sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
P_k	風荷重	―	kN/m^2

(2)　重畳時

第 4-5 表　強度評価に用いる条件（基準津波時：地盤バネ３）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	8.35	m
k_h	水平震度	0.23	―
k_v	鉛直震度	0.21	―
p_1	鋼製防護壁底面における波圧強度	237.9	kN/m^2
p_2	鋼製防護壁天端面における波圧強度	63.1	kN/m^2
G	固定荷重	732117	kN
P	積載荷重	840	kN
P_s	積雪荷重	0.21	kN
P_t	遡上津波荷重	2971.3	kN/m
P_c	衝突荷重	―	kN
P_d	動水圧合力	376.9	kN/m
y	動水圧の作用高さ	7.85	T.P. m
K_{Sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	168387	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	153745	kN
P_k	風荷重	―	kN/m^2

第 4-6 表　強度評価に用いる条件（基準津波時：地盤バネ４）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	8.35	m
k_h	水平震度	0.09	—
k_v	鉛直震度	0.21	—
p_1	鋼製防護壁底面における波圧強度	237.9	kN/m^2
p_2	鋼製防護壁天端面における波圧強度	63.1	kN/m^2
G	固定荷重	732117	kN
P	積載荷重	840	kN
P_s	積雪荷重	0.21	kN
P_t	遡上津波荷重	2971.3	kN/m
P_c	衝突荷重	—	kN
P_d	動水圧合力	147.5	kN/m
y	動水圧の作用高さ	7.85	T.P. m
K_{Sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	65891	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	153745	kN
P_k	風荷重	—	kN/m^2

第 4-7 表　強度評価に用いる条件（基準津波時：地盤バネ５）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	8.35	m
k_h	水平震度	0.09	―
k_v	鉛直震度	0.21	―
p_1	鋼製防護壁底面における波圧強度	237.9	kN/m^2
p_2	鋼製防護壁天端面における波圧強度	63.1	kN/m^2
G	固定荷重	732117	kN
P	積載荷重	840	kN
P_s	積雪荷重	0.21	kN
P_t	遡上津波荷重	2971.3	kN/m
P_c	衝突荷重	―	kN
P_d	動水圧合力	147.5	kN/m
y	動水圧の作用高さ	7.85	T.P. m
K_{Sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	65891	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	153745	kN
P_k	風荷重	―	kN/m^2

第 4-8 表　強度評価に用いる条件（T.P.＋24 m 津波時：地盤バネ３）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	11.40	m
k_h	水平震度	0.23	—
k_v	鉛直震度	0.21	—
p_1	鋼製防護壁底面における波圧強度	330.3	kN/m^2
p_2	鋼製防護壁天端面における波圧強度	155.5	kN/m^2
G	固定荷重	732117	kN
P	積載荷重	840	kN
P_s	積雪荷重	0.21	kN
P_t	遡上津波荷重	4708.5	kN/m
P_c	衝突荷重	—	kN
P_d	動水圧合力	653.0	kN/m
y	動水圧の作用高さ	9.43	T.P. m
K_{Sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	168387	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	153745	kN
P_k	風荷重	—	kN/m^2

第 4-9 表　強度評価に用いる条件（T.P.＋24 m 津波時：地盤バネ４）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	11.40	m
k_h	水平震度	0.09	—
k_v	鉛直震度	0.21	—
p_1	鋼製防護壁底面における波圧強度	330.3	kN/m^2
p_2	鋼製防護壁天端面における波圧強度	155.5	kN/m^2
G	固定荷重	732117	kN
P	積載荷重	840	kN
P_s	積雪荷重	0.21	kN
P_t	遡上津波荷重	4708.5	kN/m
P_c	衝突荷重	—	kN
P_d	動水圧合力	255.9	kN/m
y	動水圧の作用高さ	9.43	T.P. m
K_{Sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	65891	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	153745	kN
P_k	風荷重	—	kN/m^2

第 4-10 表　強度評価に用いる条件（T.P.＋24 m 津波時：地盤バネ５）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	11.40	m
k_h	水平震度	0.09	―
k_v	鉛直震度	0.21	―
p_1	鋼製防護壁底面における波圧強度	330.3	kN/m^2
p_2	鋼製防護壁天端面における波圧強度	155.5	kN/m^2
G	固定荷重	732117	kN
P	積載荷重	840	kN
P_s	積雪荷重	0.21	kN
P_t	遡上津波荷重	4708.5	kN/m
P_c	衝突荷重	―	kN
P_d	動水圧合力	255.9	kN/m
y	動水圧の作用高さ	9.43	T.P. m
K_{Sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	65891	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	153745	kN
P_k	風荷重	―	kN/m^2

5. 評価結果

5.1 津波時の強度評価結果

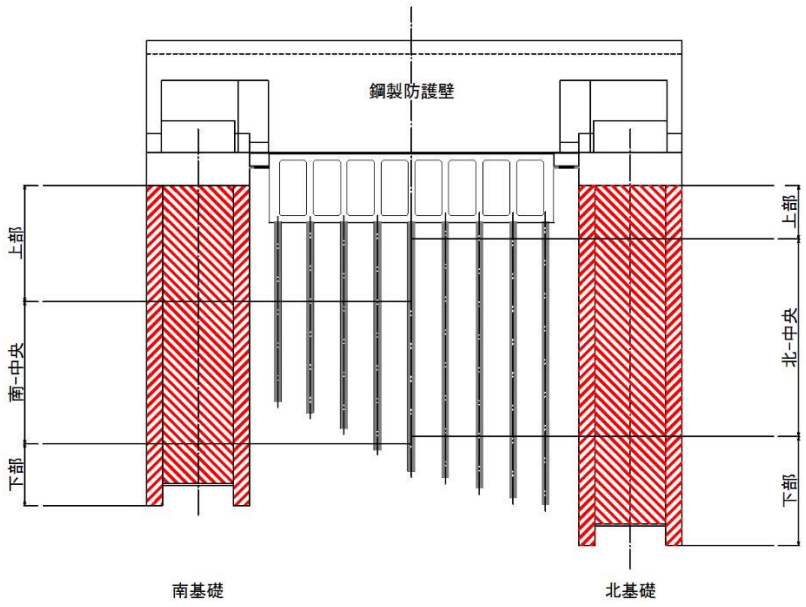
5.1.1 地中連続壁基礎（下部構造）

(1) 曲げ軸力に対する評価結果

コンクリートの曲げ軸力照査結果を第 5-1 表に，鉄筋の曲げ軸力照査結果を第 5-2 表にそれぞれ示す。表中の「○」の印は地盤バネ１と地盤バネ２をそれぞれ用いた解析に基づく照査値のうち，大きい照査値に該当する解析ケースであることを意味するものである。また，評価位置図を第 5-1 図に示す。

地中連続壁基礎における許容応力度法による照査を行った結果，評価位置においてコンクリートの曲げ圧縮応力と鉄筋の曲げ引張応力が許容限界以下であることを確認した。

以上のことから，地中連続壁基礎の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。なお，発生応力は各地盤バネケースにおいて最大となる値を示している。



第 5-1 図　評価位置図

第 5-1 表（1）　コンクリートの曲げ軸力照査結果（基準津波時）

評価位置				断面性状			※2 引張鉄筋	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生応力度 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値	備考
				部材幅 (mm)	部材高 (mm)	※1 有効高 (mm)							
地中連続壁基礎	地盤バネ1	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	1676688	-137460	3.6	21	0.18	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-52126					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	1599941	-121188	3.8	21	0.18	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	61954					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	1590304	-159133	2.9	21	0.14	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-29675					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	121233	-238785	1.8	21	0.09	北側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	-4818					
						10495	@150						
	地盤バネ2	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	2236110	-179996	4.9	21	0.24	南側基礎　○
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-85024					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	1866477	-166325	4.4	21	0.22	北側基礎　○
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	83079					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	2375359	-230396	4.4	21	0.21	南側基礎　○
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-53060					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	604144	-320806	3.3	21	0.16	北側基礎　○
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	4004					
						10495	@150						

注記　：有効高の上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する高さを示す。

：地中連続壁基礎に配置する２段を含む段数を示す。

：評価位置は第 5-1 図に示す。

：地盤バネ１，２を比較して照査値が大きい方を○

第 5-1 表（2）　コンクリートの曲げ軸力照査結果（T.P.＋24 m 津波時）

評価位置				断面性状			※2 引張鉄筋	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生応力度 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値	備考
				部材幅 (mm)	部材高 (mm)	※1 有効高 (mm)							
地中連続壁基礎	地盤バネ1	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	2792875	-146661	6.0	28	0.22	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-72897					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	2691821	-135618	6.3	28	0.23	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	78758					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	1590304	-159133	4.8	28	0.18	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-29675					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	1155486	-229134	2.7	28	0.10	北側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	5141					
						10495	@150						
	地盤バネ2	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	3684864	-185303	7.9	28	0.29	南側基礎　○
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-93963					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	3110730	-181648	7.3	28	0.27	北側基礎　○
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	103842					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	3895719	-235321	7.0	28	0.26	南側基礎　○
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-63023					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	2304861	-287575	5.5	28	0.20	北側基礎　○
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	42889					
						10495	@150						

注記　：有効高の上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する高さを示す。

：地中連続壁基礎に配置する２段を含む段数を示す。

：評価位置は第 5-1 図に示す。

第 5-2 表（1）　鉄筋の曲げ軸力に対する照査（基準津波時）

評価位置				断面性状			※2 引張鉄筋	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生応力度 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値	備考
				部材幅 (mm)	部材高 (mm)	※1 有効高 (mm)							
地中連続壁基礎	地盤バネ1	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	1191800	-80752	78.4	435	0.19	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-111366					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	1554241	-107624	87.2	435	0.21	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	74160					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	1590304	-159133	44.7	435	0.11	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-29675					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	669427	-222208	1.4	435	0.01	北側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	-3570					
						10495	@150						
	地盤バネ2	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	2236110	-179996	97.9	435	0.23	南側基礎　○
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-85024					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	1769659	-135516	95.1	435	0.22	北側基礎　○
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	99082					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	2282457	-190805	70.6	435	0.17	南側基礎　○
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-78290					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	1382102	-280393	24.3	435	0.06	北側基礎　○
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	27756					
						10495	@150						

注記　：有効高の上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する高さを示す。

：地中連続壁基礎に配置する２段を含む段数を示す。

：評価位置は第 5-1 図に示す。

第 5-2 表（2）　鉄筋の曲げ軸力に対する照査（T.P.＋24 m 津波時）

評価位置				断面性状 部材幅 (mm)	断面性状 部材高 (mm)	断面性状 ※1有効高 (mm)	※2 引張鉄筋	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生応力度 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値	備考
地中連続壁基礎	地盤バネ1	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	2000734	-88327	150.4	478.5	0.32	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-127015					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	2651802	-124094	169.8	478.5	0.36	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	91484					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	1590304	-159133	89.5	478.5	0.19	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-29675					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	2651802	-124094	20.9	478.5	0.05	北側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	91484					
						10495	@150						
	地盤バネ2	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	3684864	-185303	191.5	478.5	0.41	南側基礎　○
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-93963					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	3050507	-159454	189.4	478.5	0.40	北側基礎　○
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	116338					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	3860188	-217262	133.9	478.5	0.28	南側基礎　○
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-74382					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	2304861	-287575	91.1	478.5	0.20	北側基礎　○
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	42889					
						10495	@150						

注記　：有効高の上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する高さを示す。

：地中連続壁基礎に配置する２段を含む段数を示す。

：評価位置は第 5-1 図に示す。

(2) せん断力に対する評価結果

せん断力に対する照査結果を第 5-3 表に示す。

地中連続壁基礎における許容応力度法による照査を行った結果，評価位置における鉄筋コンクリートの発生せん断力がコンクリートの短期許容せん断力（V_{ca}）と斜め引張鉄筋の短期許容せん断力（V_{sa}）を合わせた短期許容せん断力（V_a）以下であることを確認した。

以上のことから，地中連続壁基礎の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。なお，発生応力及び発生断面力は各地盤バネケースにおいて最大となる値を示している。

第 5-3 表（1） せん断力に対する照査（基準津波時）

評価位置				断面性状			せん断補強鉄筋	せん断力 (kN)	短期許容せん断力 (N/mm^2)	照査値	備考
				部材幅 (mm)	部材高 (mm)	※1有効高 (mm)					
地中連続壁基礎	地盤バネ1	南-上部	③－③断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	104377	226924	0.46	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	5657	226924	0.03	南側基礎 ○
		北-中央	②－②断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	46498	335426	0.14	北側基礎 ○
			①－①断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	4442	335426	0.02	北側基礎 ○
		南-中央	③－③断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	59702	410783	0.15	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	3370	410783	0.01	南側基礎 ○
		北-下部	②－②断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	46406	337247	0.14	北側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	962	337247	0.01	北側基礎
	地盤バネ2	南-上部	③－③断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	108812	226924	0.48	南側基礎 ○
			①－①断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	3330	226924	0.02	南側基礎
		北-中央	②－②断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	38931	335426	0.12	北側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	2797	335426	0.01	北側基礎
		南-中央	③－③断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	117966	410783	0.29	南側基礎 ○
			①－①断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	3368	410783	0.01	南側基礎
		南-下部/北-下部	③－③断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	103585	337247	0.31	南側基礎 ○
			①－①断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	2324	337247	0.01	北側基礎 ○

注記 ：有効高の上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する高さを示す。

：地中連続壁基礎に配置する２段を含む段数を示す。

：評価位置は第 5-1 図に示す。

第 5-3 表（2）　せん断力に対する照査（T.P.＋24 m 津波時）

評価位置				断面性状			せん断補強鉄筋	せん断力 (kN)	短期許容せん断力 (N/mm^2)	照査値	備考
				部材幅 (mm)	部材高 (mm)	※1有効高 (mm)					
地中連続壁基礎	地盤バネ1	南-上部/北-上部	②－②断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	167697	264489	0.64	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	4520	264489	0.02	北側基礎　○
		北-中央	②－②断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	79316	383976	0.21	北側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	4328	383976	0.02	北側基礎　○
		南-中央	③－③断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	103175	466060	0.23	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	3673	466060	0.01	南側基礎
		北-下部	②－②断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	79297	386046	0.21	北側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	1599	386046	0.01	北側基礎
	地盤バネ2	南-上部	③－③断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	174627	264489	0.67	南側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	3112	264489	0.02	南側基礎
		北-中央	②－②断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	65775	383976	0.18	北側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	2990	383976	0.01	北側基礎
		南-中央	③－③断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	196504	466060	0.43	南側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	3729	466060	0.01	南側基礎　○
		南-下部/北-下部	③－③断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	174757	386046	0.46	南側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	2940	386046	0.01	北側基礎　○

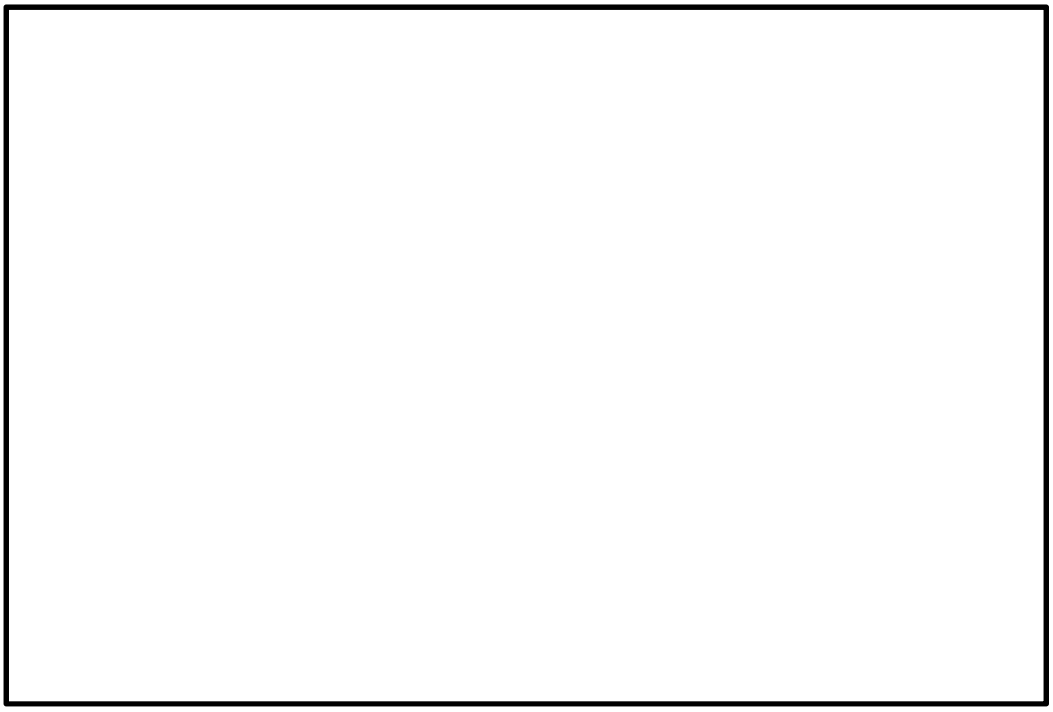
注記　：有効高の上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する高さを示す。

：地中連続壁基礎に配置する２段を含む段数を示す。

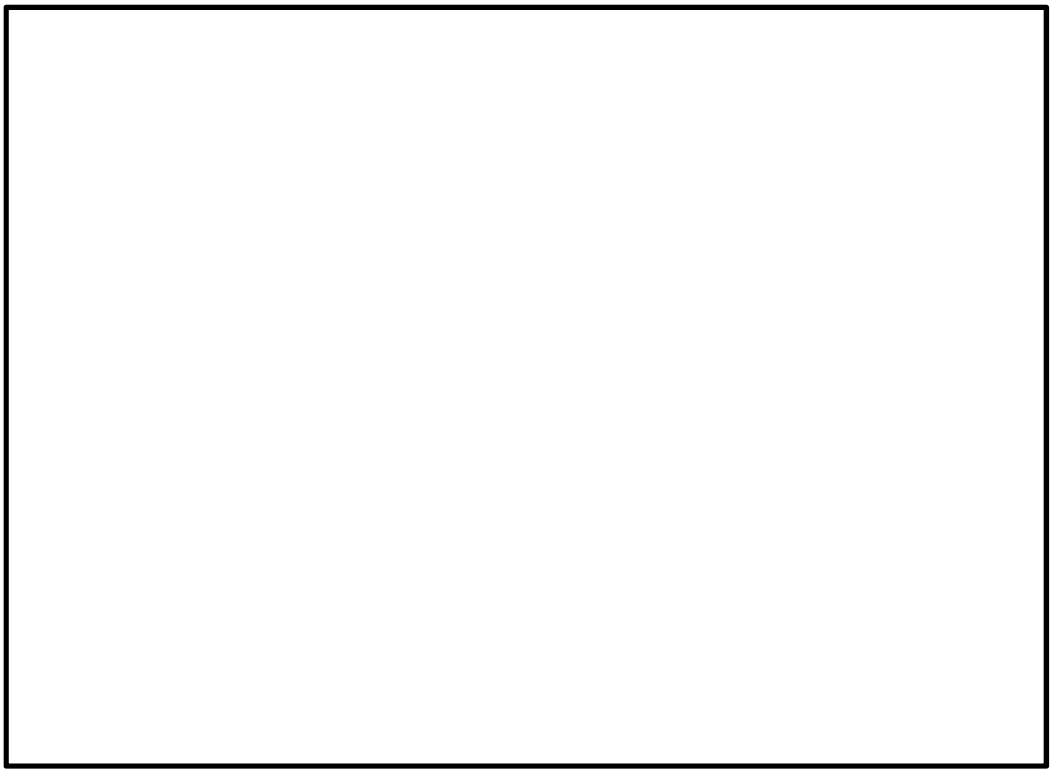
：評価位置は第 5-1 図に示す。

(3)　概略配筋図

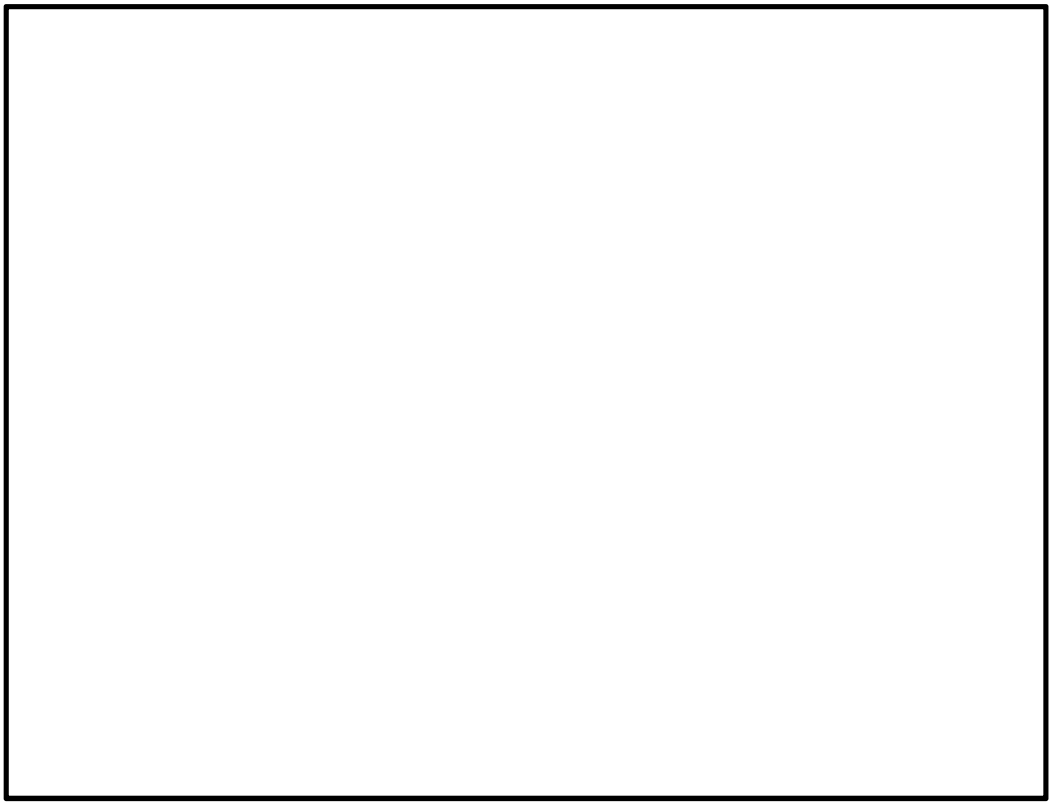
各部材の評価結果で決定された配筋を第 5-2 図及び第 5-3 図に示す。



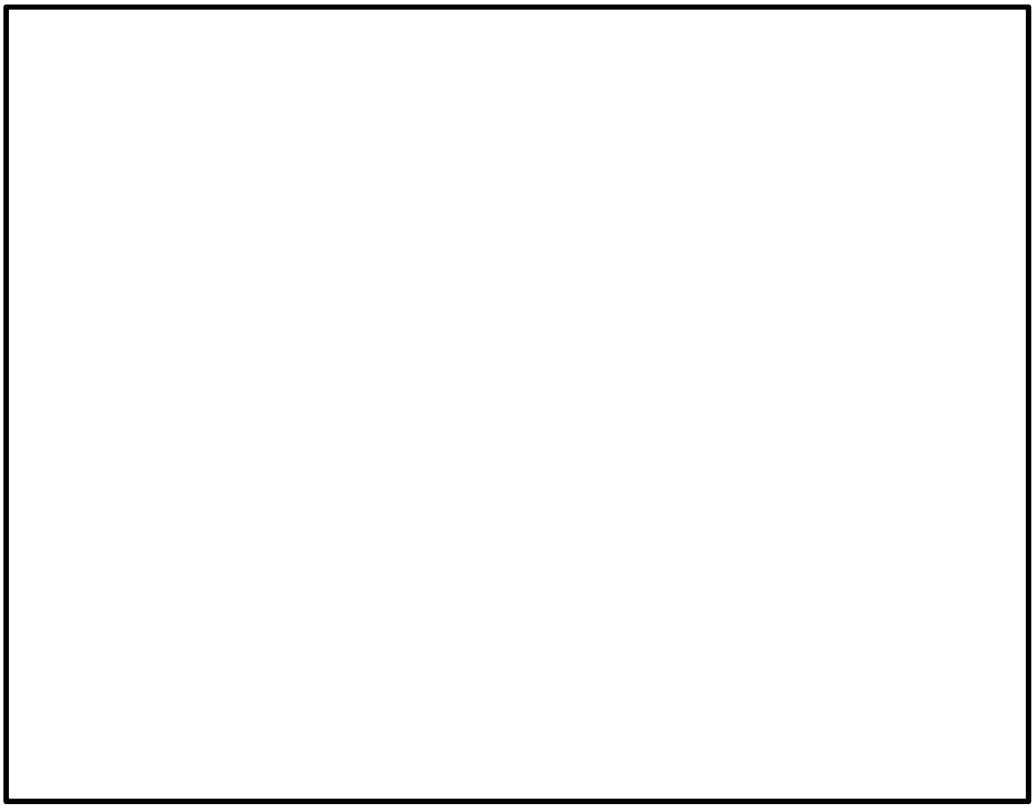
第 5-2 図 (1)　北基礎上部配筋要領図



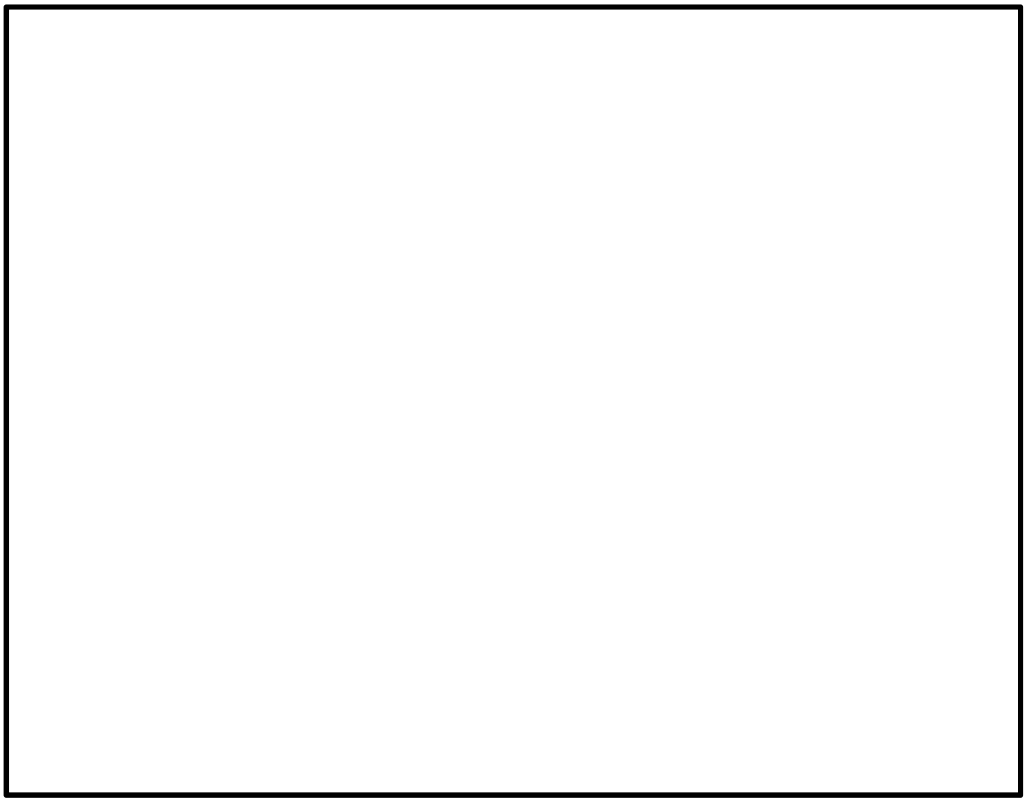
第 5-2 図 (2)　北基礎中央配筋要領図



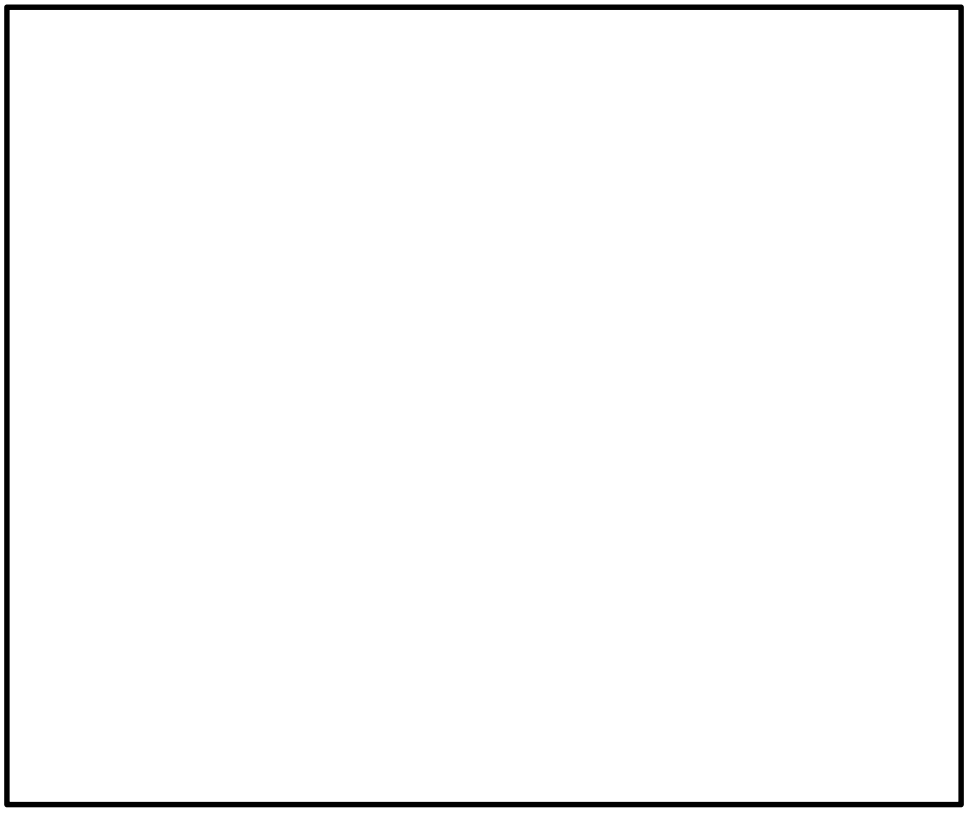
第 5-2 図 (3)　北基礎下部配筋要領図



第 5-3 図 (1)　南基礎上部配筋要領図



第 5-3 図 (2)　南基礎中央配筋要領図



第 5-3 図 (3)　南基礎下部配筋要領図

5.1.2　鋼製防護壁（上部構造，接合部）の強度評価結果

津波時に発生する上部構造，接合部の評価は，地震時及び重畳時に包絡されると考えられるため，強度評価については重畳時のみ実施する。

5.1.3　止水ジョイント部の相対変位量に対する評価結果

津波時における止水ジョント部の異種構造物間の相対変位量に対する照査結果を第 5-4 表に示す。

津波時における止水ジョイント部の異種構造物間の相対変位量に対する照査を行った結果，止水ジョイント部の相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

第 5-4 表　異種構造物間の津波時相対変位量

位置番号	δx [m]	δy [m]	δz [m]	最大発生変位量[m] $\sqrt{(\delta x^2+\delta y^2+\delta z^2)}$	設計変位量 [m]
南側	0.215	0.789	0.041	0.819	2.000
北側	0.235	0.971	0.041	1.000	2.000

5.2　重畳時の強度評価結果

5.2.1　１次元有効応力解析結果

(1)　北側基礎

北側基礎における１次元有効応力解析結果から地表面水平最大加速度，地表面最大変位，最大せん断ひずみをまとめたものを第 5-5 表に示す。

第 5-5 表　１次元有効応力解析結果（北側基礎）

検討ケース	① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース（基本ケース）	② 地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮（－１σ）した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地表面最大水平加速度（cm/s^2）	127.01	128.97	135.67	82.35	189.20	191.15
地表面最大変位（cm）	9.77	8.47	12.30	21.22	10.24	8.82
最大せん断ひずみ	3.83×10^{-2}	3.26×10^{-2}	3.92×10^{-2}	4.27×10^{-2}	3.46×10^{-3}	2.92×10^{-3}

第 5-5 表より，地盤バネ３は地表面最大加速度が発生する⑥地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース，地盤バネ４は地表面最大変位が発生する④敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース，地盤バネ５は最大せん断ひずみが発生する④敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケースに基づき設定する。それぞれ地表面最大加速度発生時刻，地表面最大変位発生時刻，最大せん断ひずみ発生時刻における平均有効主応力σ'$_m$及びせん断ひずみγの深度分布により求められる地盤剛性及び反力上限値を用いて地盤バネを設定する。

(2) 南側基礎

南側基礎における１次元有効応力解析結果から地表面水平最大加速度，地表面最大変位，最大せん断ひずみをまとめたものを第 5-6 表に示す。

第 5-6 表　１次元有効応力解析結果（南側基礎）

検討ケース	① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース（基本ケース）	② 地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮（－１σ）した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地表面最大水平加速度（cm/s^2）	193.47	163.82	195.14	86.26	215.61	219.92
地表面最大変位（cm）	11.00	8.57	10.11	21.27	7.84	7.05
最大せん断ひずみ	4.17×10^{-2}	3.47×10^{-2}	3.76×10^{-2}	4.53×10^{-2}	3.52×10^{-3}	3.17×10^{-3}

第 5-6 表より，地盤バネ３は地表面最大加速度が発生する⑥地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース，地盤バネ４は地表面最大変位が発生する④敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース，地盤バネ５は最大せん断ひずみが発生する④敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケースに基づき設定する。それぞれ地表面最大加速度発生時刻，地表面最大変位発生時刻，最大せん断ひずみ発生時刻における平均有効主応力 σ'_m 及びせん断ひずみ γ の深度分布により求められる地盤剛性及び反力上限値を用いて地盤バネを設定する。

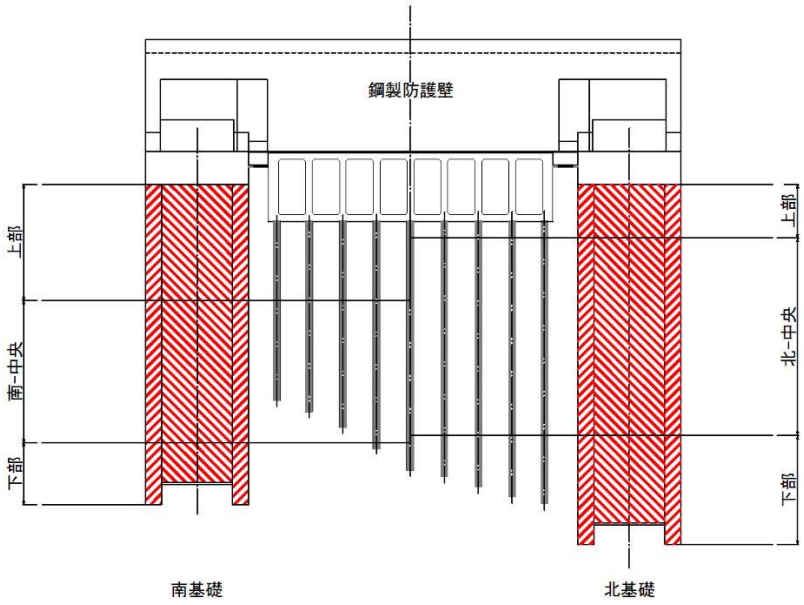
5.2.2　地中連続壁基礎（下部構造）

(1)　構造部材の曲げ軸力に対する評価結果

コンクリートの曲げ軸力照査結果を第 5-7 表に，鉄筋の曲げ軸力照査結果を第 5-8 表にそれぞれ示す。「○」の印は地盤バネ３，地盤バネ４及び地盤バネ５をそれぞれ用いた解析に基づく照査値のうち，最も大きい照査値に該当する解析ケースであることを意味するものである。また，評価位置を第 5-4 図に示す。

地中連続壁基礎における許容応力度法による照査を行った結果，評価位置においてコンクリートの曲げ圧縮応力と鉄筋の曲げ引張応力が許容限界以下であることを確認した。

以上のことから，地中連続壁基礎の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。なお，発生応力は各地盤バネケースにおいて最大となる値を示している。



第 5-4 図　評価位置図

第 5-7 表（1）　コンクリートの曲げ軸力に対する照査（基準津波時）

評価位置				断面性状 部材幅 (mm)	断面性状 部材高 (mm)	断面性状 ※1有効高 (mm)	※2 引張鉄筋	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生応力度 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値	備考
地中連続壁基礎	地盤バネ3	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	3872651	-138044	11.1	21	0.53	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-1221189					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	3842222	-280206	10.6	21	0.51	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	689913					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	4892432	-303374	13.0	21	0.63	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	2282746					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	3271328	-226267	10.2	21	0.49	北側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	875970					
						10495	@150						
	地盤バネ4	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	3708956	-157020	12.2	21	0.59	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	1835791					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	3324283	-205984	13.4	21	0.64	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	2220102					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	5329354	-212115	17.4	21	0.84	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	4170269					
						9520	@150						
		南-下部	③－③断面	15500	15500	14280	4段D51	2168810	-295176	10.7	21	0.51	南側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	2071209					
						10495	@150						
	地盤バネ5	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	3682836	-156940	12.3	21	0.59	南側基礎　○
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	1869418					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	3434980	-205951	13.8	21	0.66	北側基礎　○
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	2274482					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	5279972	-211575	17.5	21	0.84	南側基礎　○
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	4237112					
						9520	@150						
		南-下部	③－③断面	15500	15500	14280	4段D51	2175422	-299617	10.8	21	0.52	南側基礎　○
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	2122834					
						10495	@150						

注記　：有効高の上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する高さを示す。

：地中連続壁基礎に配置する２段を含む段数を示す。

：評価位置は第 5-4 図に示す。

第 5-7 表（2）　コンクリートの曲げ軸力に対する照査（T.P.＋24 m 津波時）

評価位置				断面性状			※2 引張鉄筋	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生応力度 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値	備考
				部材幅 (mm)	部材高 (mm)	※1 有効高 (mm)							
地中連続壁基礎	地盤バネ3	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	6148926	-143501	15.9	28	0.57	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-1274366					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	6388089	-202313	16.5	28	0.59	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	744931					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	7506257	-197681	17.7	28	0.64	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-2334669					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	5563726	-238355	16.0	28	0.58	北側基礎○
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	910975					
						10495	@150						
	地盤バネ4	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	6064324	-161316	17.2	28	0.62	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	1844516					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	5168767	-217942	17.9	28	0.64	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	2245797					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	8479876	-312560	23.0	28	0.83	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	4184572					
						9520	@150						
		南-下部	③－③断面	15500	15500	14280	4段D51	3586544	-265755	14.3	28	0.52	南側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	2068438					
						10495	@150						
	地盤バネ5	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	6052530	-161217	17.3	28	0.62	南側基礎　○
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	1878032					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	5278799	-218258	18.3	28	0.66	北側基礎　○
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	2300331					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	8464424	-310921	23.1	28	0.83	南側基礎　○
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	4252003					
						9520	@150						
		南-下部	③－③断面	15500	15500	14280	4段D51	3612660	-321068	14.7	28	0.53	南側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	2124987					
						10495	@150						

注記　：有効高の上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する高さを示す。

：地中連続壁基礎に配置する２段を含む段数を示す。

：評価位置は第 5-4 図に示す。

第 5-8 表（1）　鉄筋の曲げ軸力に対する照査（基準津波時）

評価位置				断面性状 部材幅 (mm)	断面性状 部材高 (mm)	断面性状 ※1有効高 (mm)	※2 引張鉄筋	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生応力度 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値	備考
地中連続壁基礎	地盤バネ3	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	3872651	-138044	263.4	435	0.61	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-1221189					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	3889206	-184300	269.0	435	0.62	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	614455					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	4880834	-192177	250.9	435	0.58	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-2284136					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	3271328	-226267	240.1	435	0.56	北側基礎　○
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	875970					
						10495	@150						
	地盤バネ4	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	3683944	-125632	280.9	435	0.65	南側基礎　○
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-1796771					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	3241470	-168323	300.1	435	0.69	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	-2114262					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	5323282	-181503	333.9	435	0.77	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-4066194					
						9520	@150						
		南-下部	③－③断面	15500	15500	14280	4段D51	2167439	-231981	206.4	435	0.48	南側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	-1996386					
						10495	@150						
	地盤バネ5	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	3657802	-125040	280.4	435	0.65	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-1819403					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	3354603	-168350	311.8	435	0.72	北側基礎　○
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	-2167308					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	5275445	-180408	334.3	435	0.77	南側基礎　○
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-4122951					
						9520	@150						
		南-下部	③－③断面	15500	15500	14280	4段D51	2176465	-235135	209.1	435	0.49	南側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	-2043173					
						10495	@150						

注記　：有効高の上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する高さを示す。

：地中連続壁基礎に配置する２段を含む段数を示す。

：評価位置は第 5-4 図に示す。

第 5-8 表（2）　鉄筋の曲げ軸力に対する照査（T.P.＋24 m 津波時）

評価位置				断面性状 部材幅 (mm)	断面性状 部材高 (mm)	断面性状 ※1有効高 (mm)	※2 引張鉄筋	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生応力度 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値	備考
地中連続壁基礎	地盤バネ3	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	6148926	-143501	414.0	478.5	0.87	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-1274366					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	6415339	-193195	472.1	478.5	0.99	北側基礎　○
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	664663					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	7506257	-197681	363.8	478.5	0.77	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-2334669					
						9520	@150						
		北-下部	②－②断面	15500	15500	14280	4段D51	5563726	-238355	448.5	478.5	0.94	北側基礎　○
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	910975					
						10495	@150						
	地盤バネ4	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	6038944	-129768	434.0	478.5	0.91	南側基礎
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-1810039					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	5168767	-217942	437.6	478.5	0.92	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	2245797					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	8480090	-185398	465.3	478.5	0.98	南側基礎
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-4078731					
						9520	@150						
		南-下部	③－③断面	15500	15500	14280	4段D51	3584796	-251348	318.4	478.5	0.67	南側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	-1999771					
						10495	@150						
	地盤バネ5	南-上部	③－③断面	15500	15500	14280	7段D51	6027136	-129159	434.4	478.5	0.91	南側基礎　○
						10270	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	7段D51	-1832831					
						10270	@150						
		北-中央	②－②断面	15500	15500	14280	5段D51	5278799	-218258	449.1	478.5	0.94	北側基礎
						10420	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	5段D51	2300331					
						10420	@150						
		南-中央	③－③断面	15500	15500	14280	17段D51	8466061	-184194	466.8	478.5	0.98	南側基礎　○
						9520	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	17段D51	-4135028					
						9520	@150						
		南-下部	③－③断面	15500	15500	14280	4段D51	3615184	-255128	322.1	478.5	0.68	南側基礎
						10495	@150						
			①－①断面	15500	15500	14280	4段D51	-2046829					
						10495	@150						

注記　：有効高の上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する高さを示す。

：地中連続壁基礎に配置する２段を含む段数を示す。

：評価位置は第 5-4 図に示す。

(2)　せん断力に対する評価結果

せん断力に対する照査結果を第 5-9 表に示す。

地中連続壁基礎における許容応力度法による照査を行った結果，評価位置における鉄筋コンクリートの発生せん断力がコンクリートの短期許容せん断力（V_{ca}）と斜め引張鉄筋の短期許容せん断力（V_{sa}）を合わせた短期許容せん断力（V_a）以下であることを確認した。

以上のことから，地中連続壁基礎の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。なお，発生応力及び発生断面力は各地盤バネケースにおいて最大となる値を示している。

第 5-9 表（1）　せん断力に対する照査（基準津波時）

評価位置				断面性状			せん断補強鉄筋	せん断力 (kN)	短期許容せん断力 (N/mm^2)	照査値	備考
				部材幅 (mm)	部材高 (mm)	※1有効高 (mm)					
地中連続壁基礎	地盤バネ3	南-上部	③－③断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	142809	226924	0.63	南側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	107207	226924	0.48	南側基礎
		北-中央	②－②断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	131246	335426	0.40	北側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	68724	335426	0.21	北側基礎
		南-中央	③－③断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	197410	410783	0.49	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	114664	410783	0.28	南側基礎
		南-下部	③－③断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	175471	337247	0.53	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	82697	337247	0.25	南側基礎
	地盤バネ4	南-上部	③－③断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	141290	226924	0.63	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	146176	226924	0.65	南側基礎
		北-中央	②－②断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	246393	335426	0.74	北側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	205882	335426	0.62	北側基礎
		南-中央	③－③断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	220205	410783	0.54	南側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	214431	410783	0.53	南側基礎
		北-下部	②－②断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	247628	337247	0.74	北側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	207403	337247	0.62	北側基礎
	地盤バネ5	南-上部	③－③断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	140809	226924	0.63	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	148213	226924	0.66	南側基礎　○
		北-中央	②－②断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	250093	335426	0.75	北側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	206084	335426	0.62	北側基礎　○
		南-中央	③－③断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	204745	410783	0.50	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	217302	410783	0.53	南側基礎　○
		北-下部	②－②断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	251358	337247	0.75	北側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	207556	337247	0.62	北側基礎　○

注記　：上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する有効高を示す。

：評価位置は第 5-4 図に示す。

第 5-9 表 (2)　せん断力に対する照査（T.P.＋24 m 津波時）

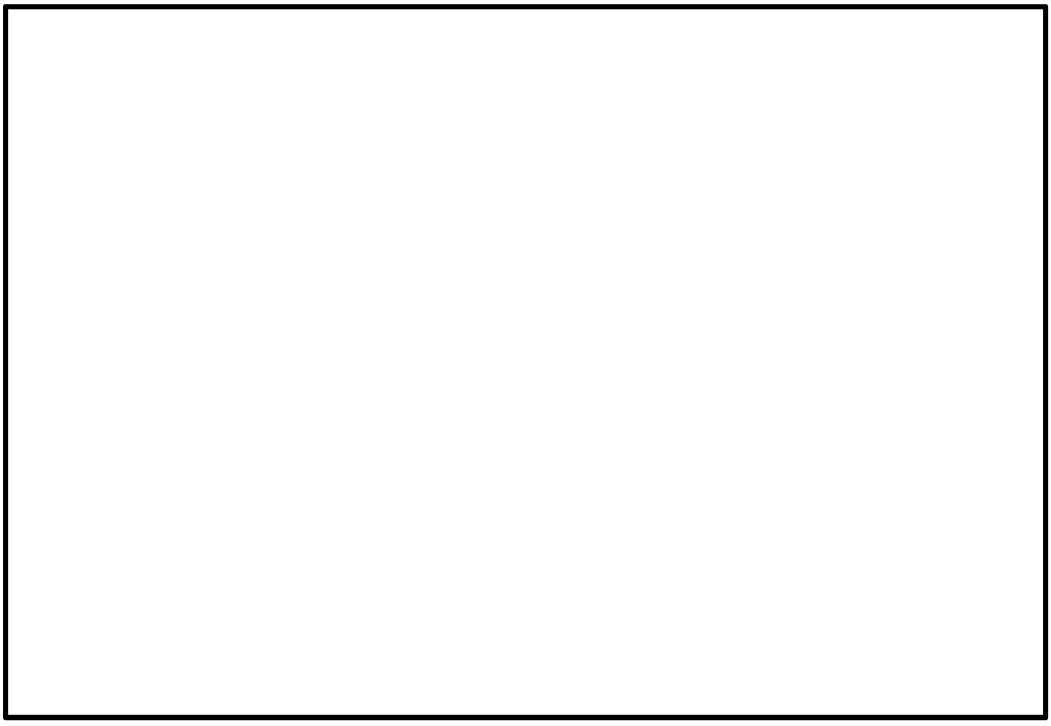
評価位置				断面性状 部材幅 (mm)	断面性状 部材高 (mm)	断面性状 ※1有効高 (mm)	せん断補強鉄筋	せん断力 (kN)	短期許容せん断力 (N/mm^2)	照査値	備考
地中連続壁基礎	地盤バネ3	南-上部	③－③断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	221898	264489	0.84	南側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	107637	264489	0.41	南側基礎
		北-中央	②－②断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	203819	383976	0.54	北側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	68966	383976	0.18	北側基礎
		南-中央	③－③断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	305020	466060	0.66	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	115044	466060	0.25	南側基礎
		南-下部	③－③断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	270587	386046	0.71	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	84888	386046	0.22	南側基礎
	地盤バネ4	南-上部	③－③断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	220644	264489	0.84	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	145698	264489	0.56	南側基礎
		北-中央	②－②断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	270854	383976	0.71	北側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	207693	383976	0.55	北側基礎
		南-中央	③－③断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	342694	466060	0.74	南側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	214074	466060	0.46	南側基礎
		南-下部/北-下部	③－③断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	323336	386046	0.84	南側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	209213	386046	0.55	北側基礎
	地盤バネ5	南-上部	③－③断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	220532	264489	0.84	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10270	14本-D38 @300	147754	264489	0.56	南側基礎　○
		北-中央	②－②断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	274879	383976	0.72	北側基礎　○
			①－①断面	10700	10700	14280 10420	24本-D38 @300	207865	383976	0.55	北側基礎　○
		南-中央	③－③断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	327953	466060	0.71	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 9520	34本-D35 @300	216960	466060	0.47	南側基礎　○
		南-下部	③－③断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	310293	386046	0.81	南側基礎
			①－①断面	10700	10700	14280 10495	24本-D38 @300	209338	386046	0.55	南側基礎　○

注記　：上段は地中連続壁基礎，下段は中実鉄筋コンクリートに対する有効高を示す。

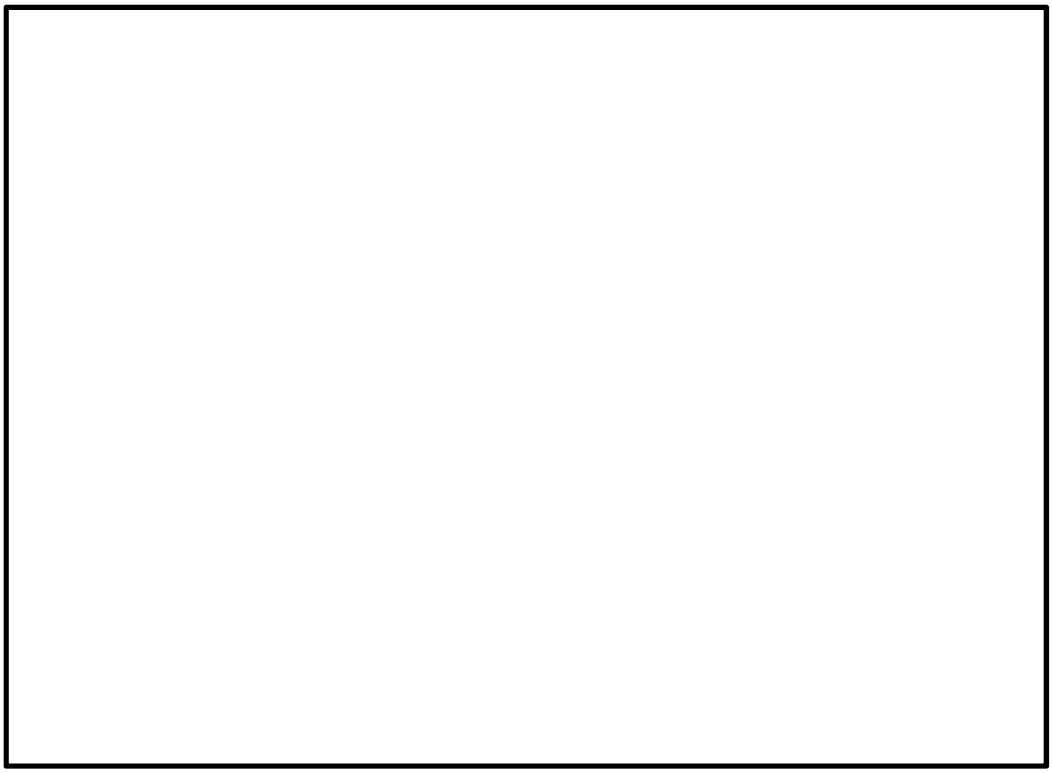
：評価位置は第 5-4 図に示す。

(3) 概略配筋図

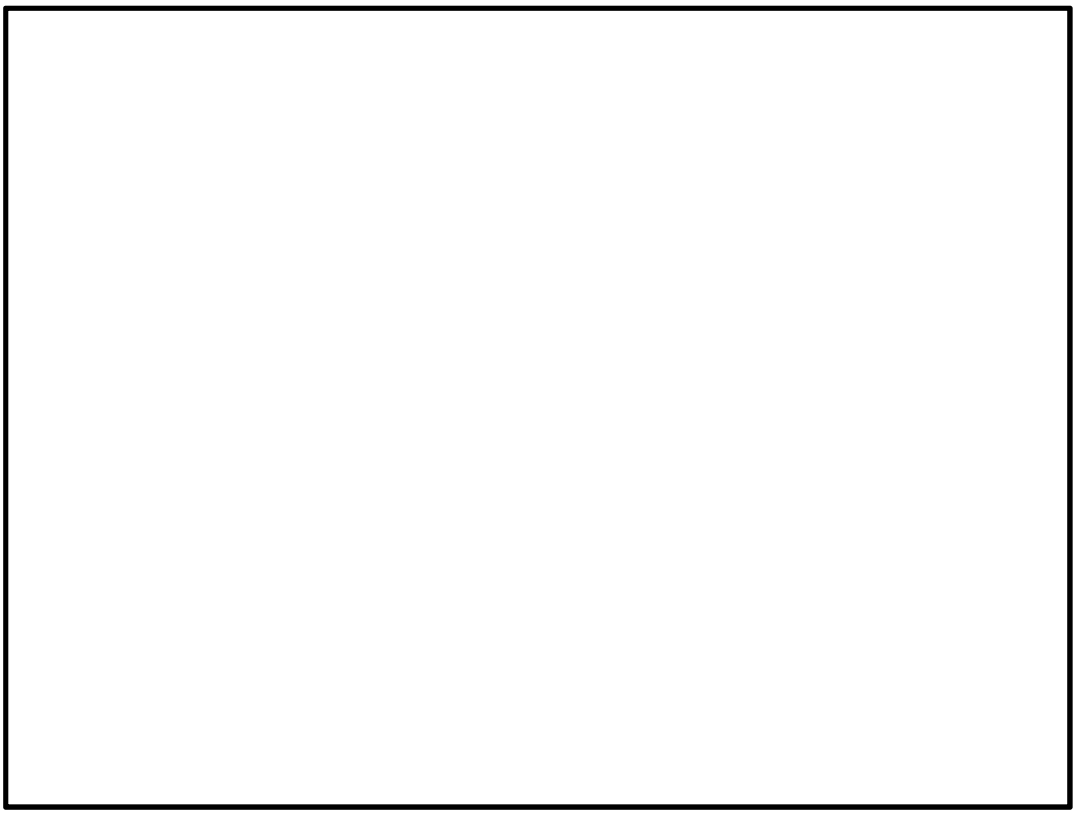
各部材の評価結果で決定された配筋を第 5-5 図及び第 5-6 図に示す。



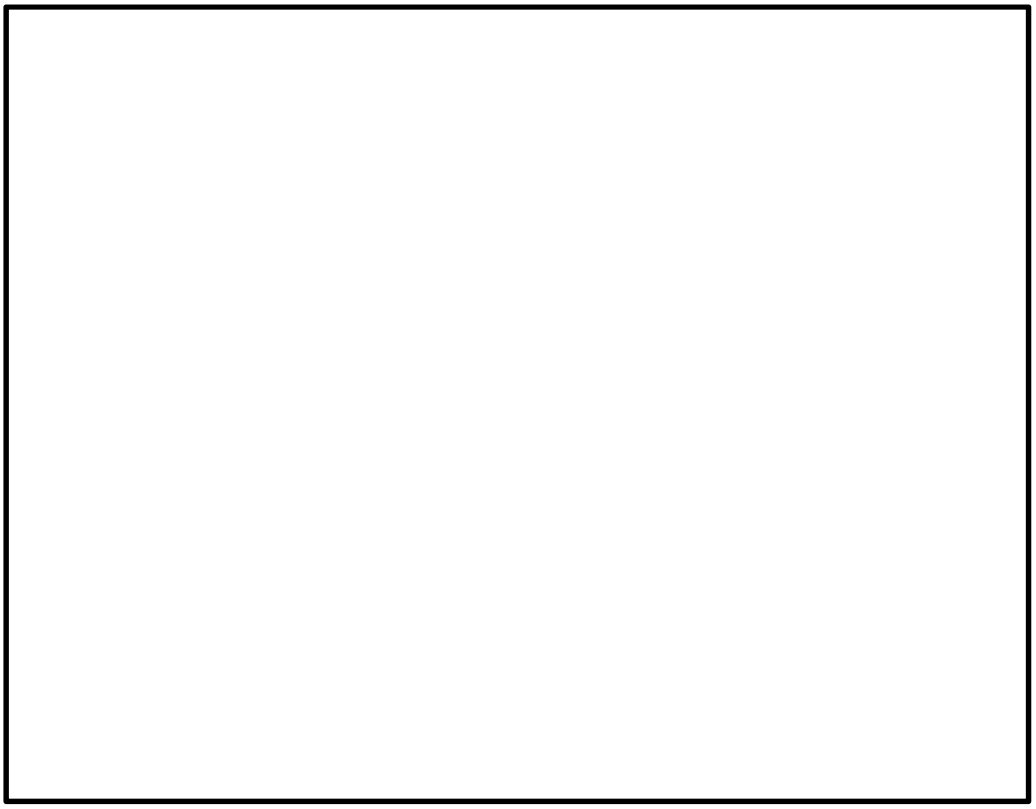
第 5-5 図 (1)　北基礎上部配筋要領図



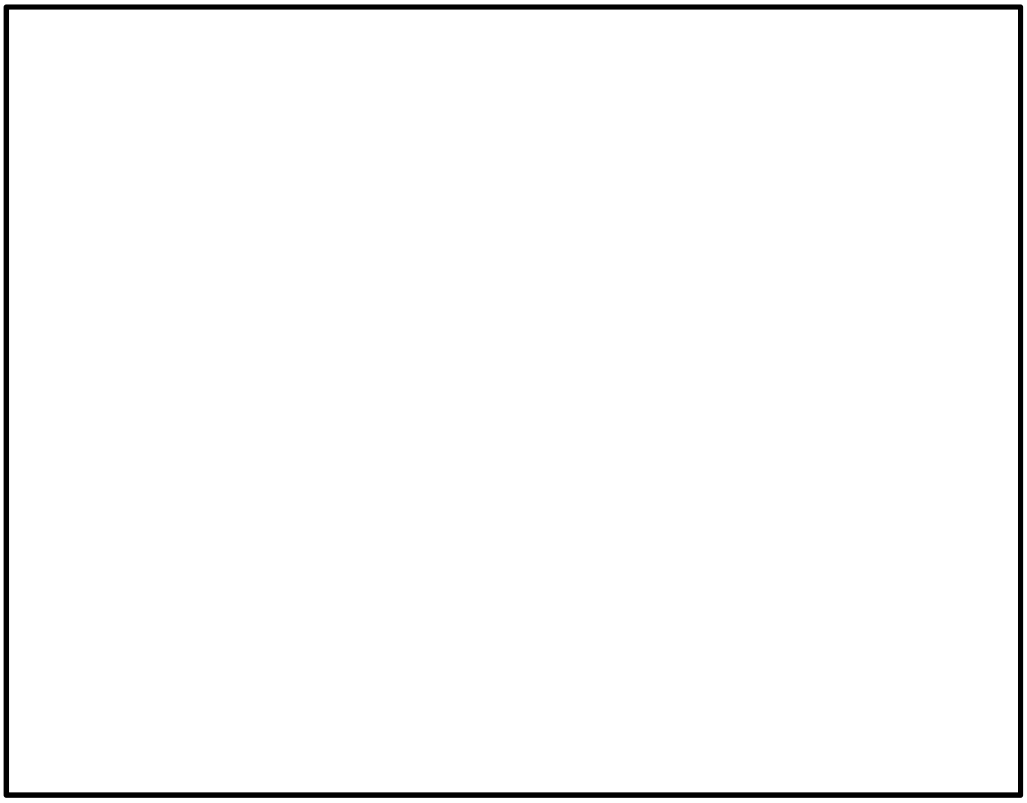
第 5-5 図 (2)　北基礎中央配筋要領図



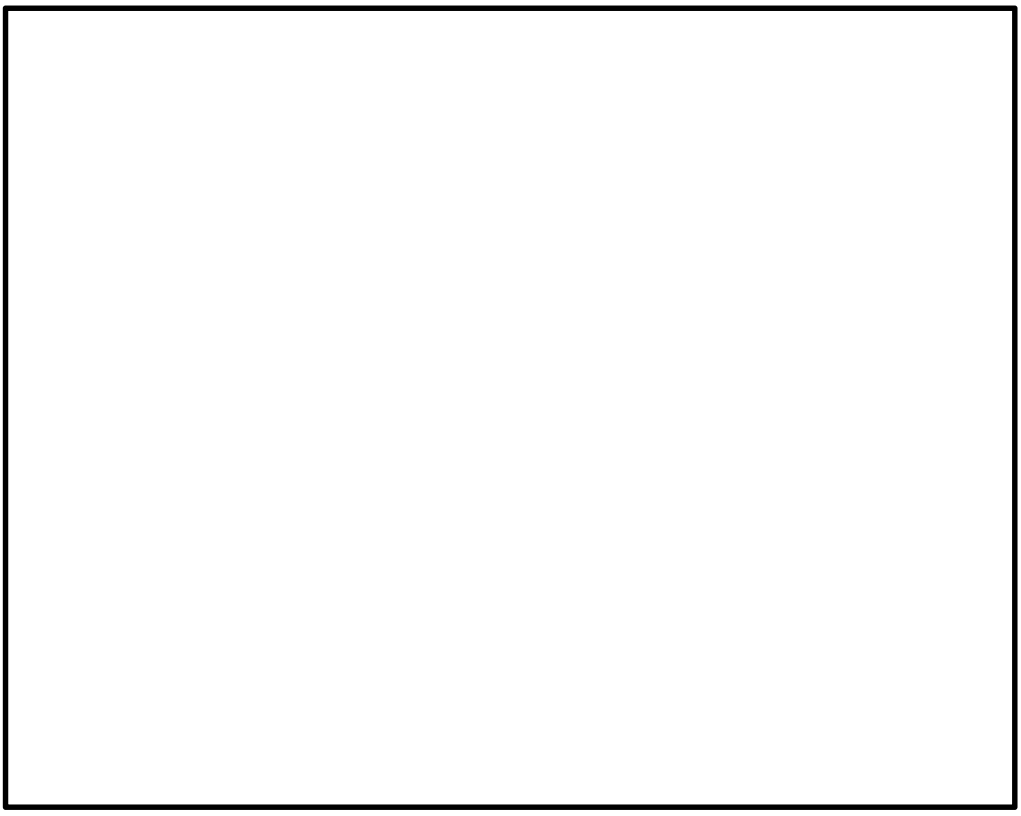
第 5-5 図 (3)　北基礎下部配筋要領図



第 5-6 図 (1)　南基礎上部配筋要領図



第 5-6 図 (2)　南基礎中央配筋要領図

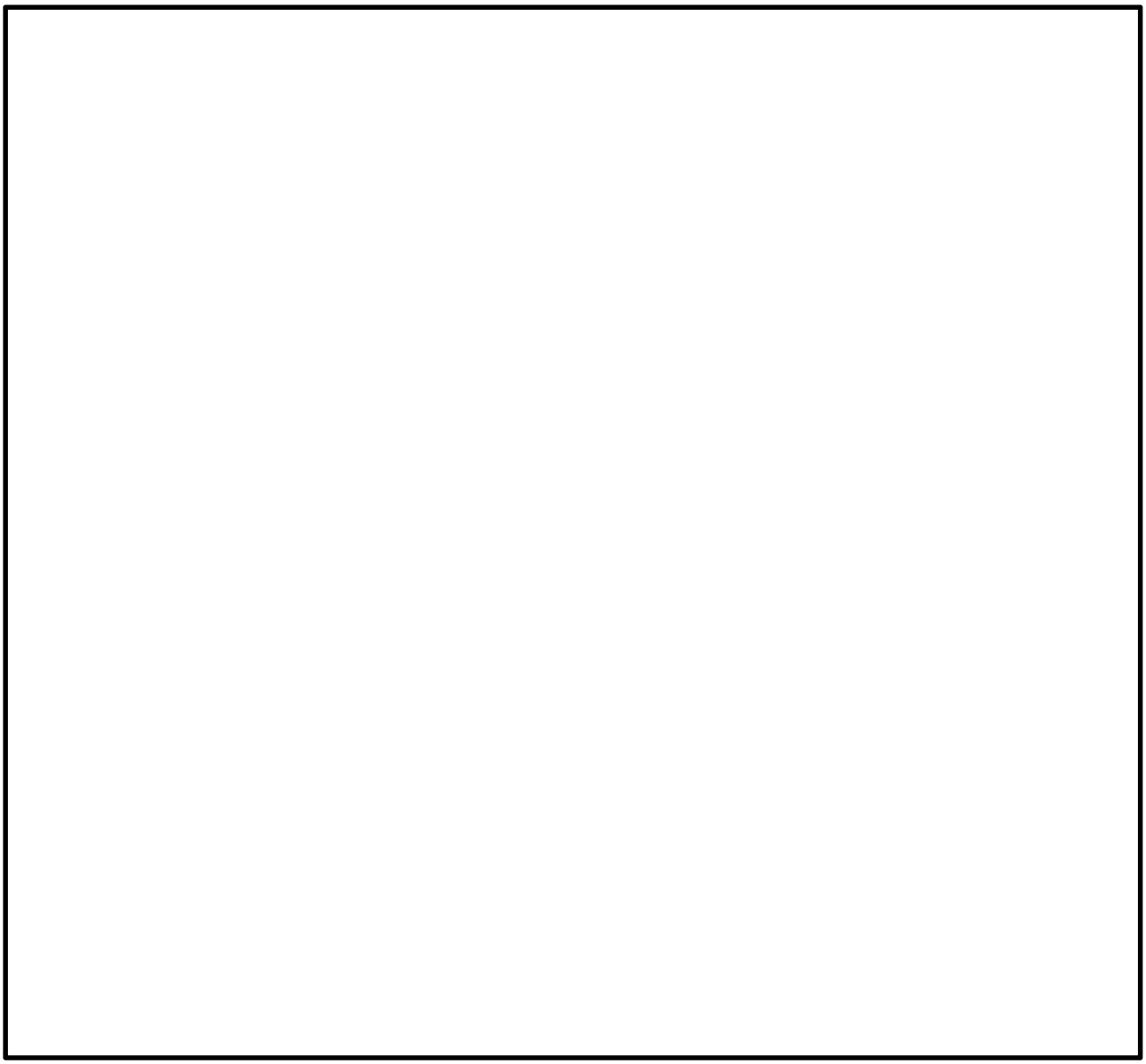


第 5-6 図 (3)　南基礎下部配筋要領図

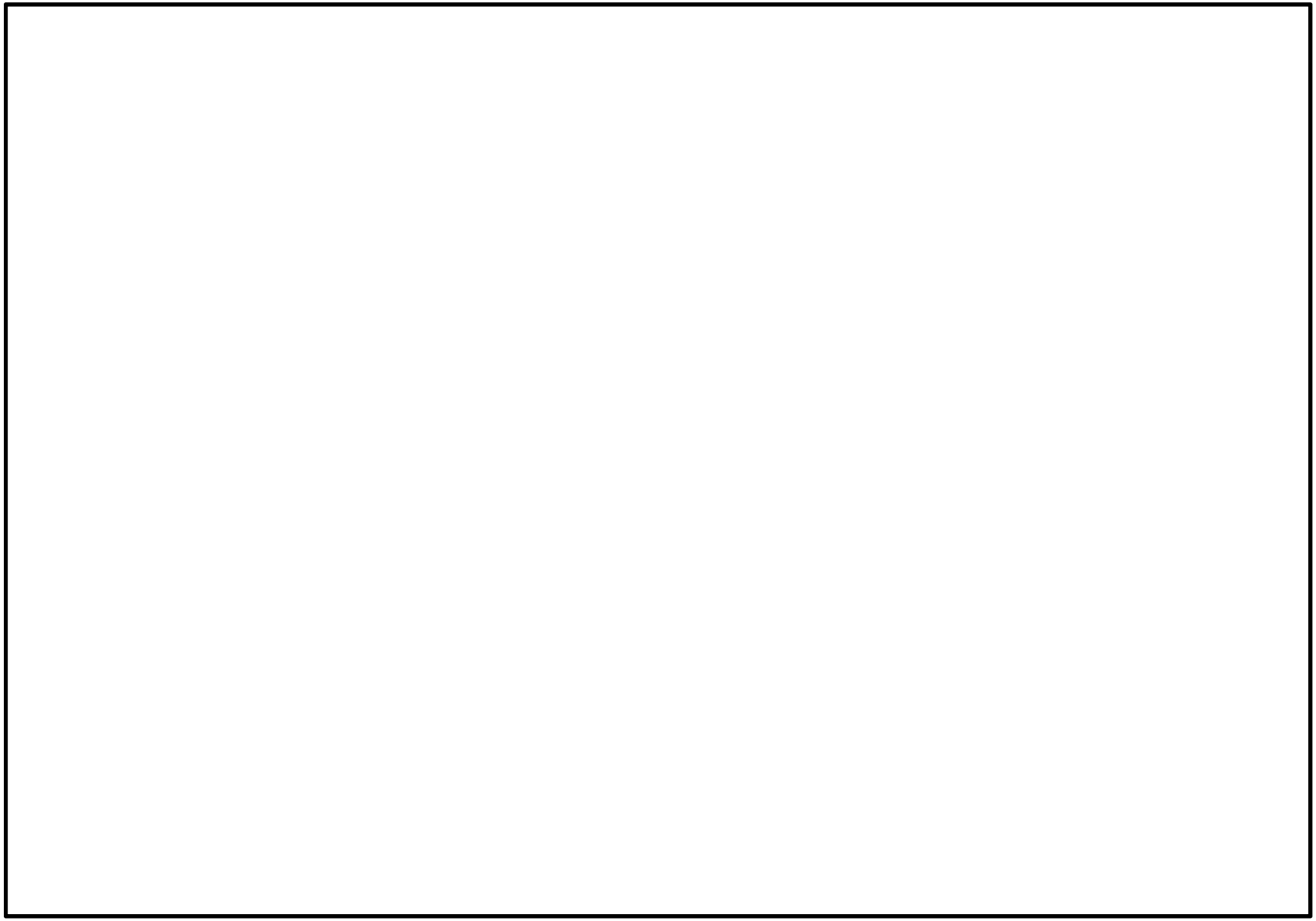
5.2.3　鋼製防護壁（上部構造）

(1)　部材断面諸元

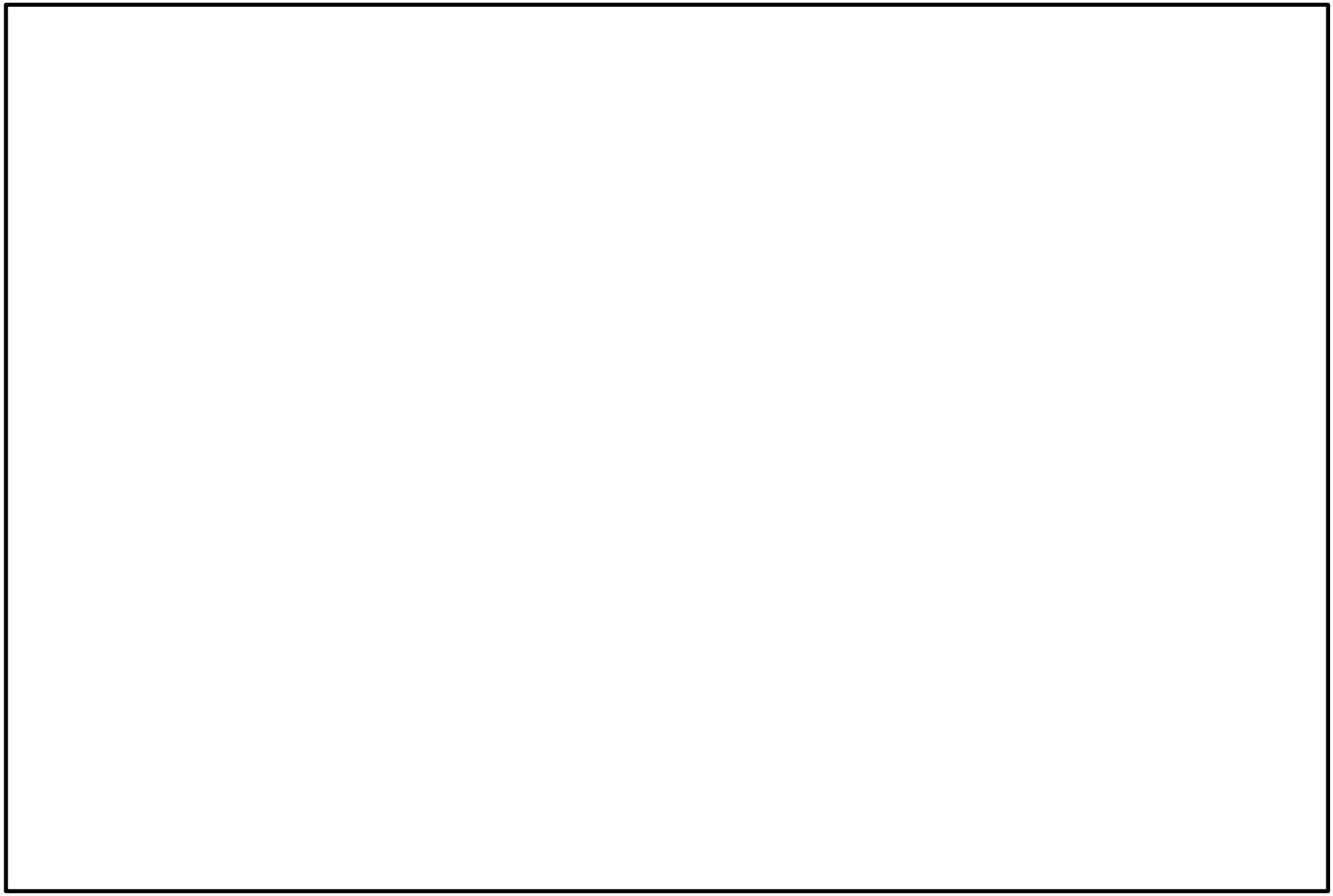
鋼製防護壁の構造図を第 5-7 図に，板厚構成図を第 5-8 図に示す。



第 5-7 図　鋼製防護壁構造図



第 5-8 図 (1)　板厚構成図（その１）



第 5-8 図 (2)　板厚構成図（その２）

(2) 部材照査

解析によって求められた断面力に対して，部材照査を行う。

鋼製防護壁における許容応力度法による照査を行った結果，評価位置の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

a. 主部材

主部材について，各荷重組合せ時の垂直応力度，合成応力度を算出し，許容値以下であることを確認した。主部材の評価結果を第 5-10 表に示す。

第 5-10 表　主部材の評価結果

検討ケース	材質	応力成分	発生値	許容値	照査値
基準津波	SBHS500	直応力度 σ (N/mm²)	324	443	0.74
	SBHS500	せん断応力度 τ (N/mm²)	182	255	0.72
	SBHS500	合成応力度 k* (－)	0.90	1.2	0.75
T.P.＋24 m 津波	SBHS500	直応力度 σ (N/mm²)	428	443	0.97
	SBHS500	せん断応力度 τ (N/mm²)	253	289	0.88
	SBHS500	合成応力度 k* (－)	1.18	1.2	0.99

注記　＊：合成応力度 $k=(\sigma/\sigma_a)^2+(\tau/\tau_a)^2$

b. 補剛材

主部材に対する補剛材の評価結果を第 5-11 表に示す。

第 5-11 表（1） 補剛材の評価結果（その１）

主部材			補剛材		
部位	材質	板厚 (mm)	成分	必要量	配置量
Z0-Z1	SBHS500	65	断面積（cm^2）	31.42	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	4415	37137
Z0-Z1	SBHS500	60	断面積（cm^2）	29.00	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	10129	37137
Z1-Z2	SBHS500	60	断面積（cm^2）	33.00	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	15895	37137
Z2-Z3	SBHS500	60	断面積（cm^2）	33.00	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	15895	37137
Z0-Z1	SM570	40	断面積（cm^2）	19.33	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	11224	37137
Z0-Z1	SM570	30	断面積（cm^2）	14.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	11913	37137
Z0-Z1	SM490Y	30	断面積（cm^2）	14.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	10045	37137
Z0-Z1	SM490Y	25	断面積（cm^2）	12.08	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	9699	37137
Z1-Z2	SM570	40	断面積（cm^2）	22.00	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	14115	37137
Z1-Z2	SM570	30	断面積（cm^2）	16.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	13630	37137
Z1-Z2	SM490Y	30	断面積（cm^2）	16.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	11391	37137
Z1-Z2	SM490Y	25	断面積（cm^2）	13.75	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	10717	37137
Z2-Z3	SM570	40	断面積（cm^2）	22.00	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	14115	37137
Z2-Z3	SM490Y	40	断面積（cm^2）	22.00	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	11964	37137
Z2-Z3	SM570	30	断面積（cm^2）	16.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	13630	37137

第 5-11 表 (2)　補剛材の評価結果（その２）

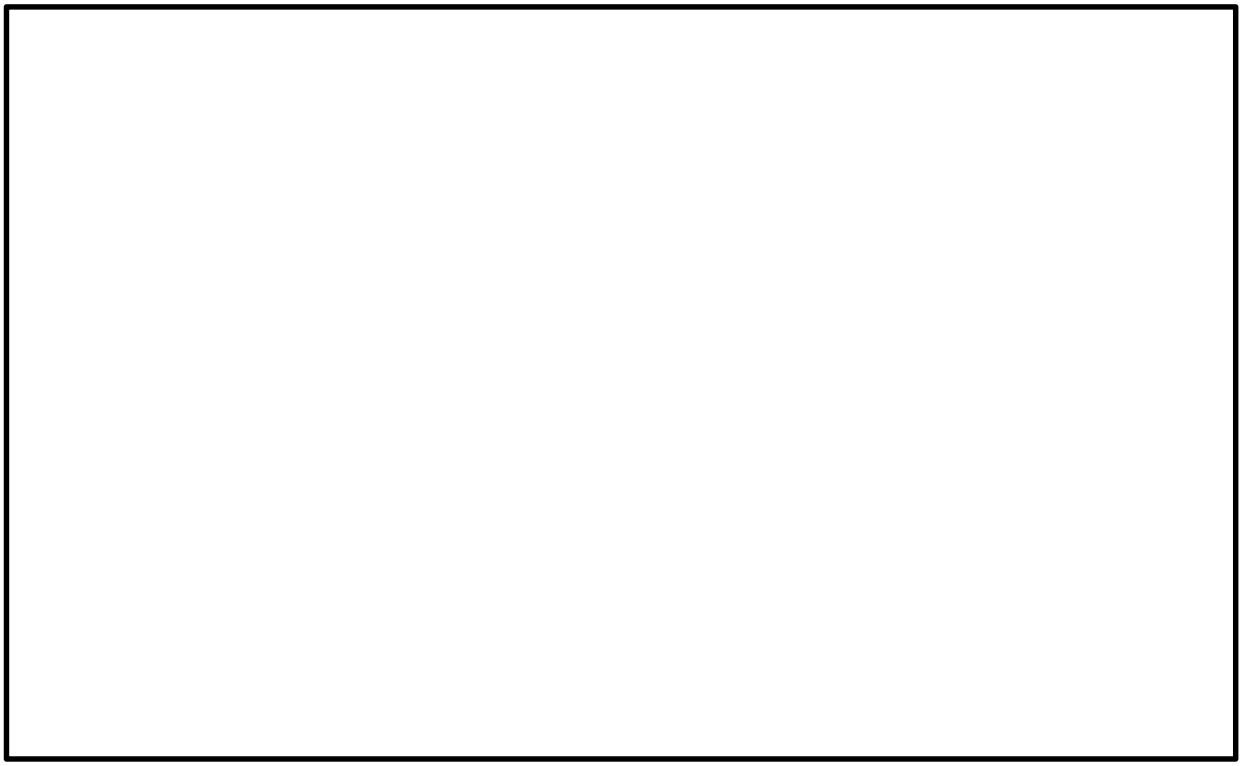
主部材			補剛材		
部位	材質	板厚 (mm)	成分	必要量	配置量
Z2-Z3	SM490Y	30	断面積（cm^2）	16.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	13630	37137
Z2-Z3	SM490Y	25	断面積（cm^2）	13.75	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	10717	37137
Z3-Z4	SM570	40	断面積（cm^2）	22.00	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	14115	37137
Z3-Z4	SM490Y	40	断面積（cm^2）	22.00	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	11964	37137
Z3-Z4	SM570	30	断面積（cm^2）	16.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	13630	37137
Z3-Z4	SM490Y	30	断面積（cm^2）	16.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	13630	37137
Z3-Z4	SM570	25	断面積（cm^2）	13.75	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	12879	37137
Z3-Z4	SM490Y	25	断面積（cm^2）	13.75	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	12879	37137
Z4-Z5	SM570	30	断面積（cm^2）	16.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	14670	37137
Z4-Z5	SM490Y	30	断面積（cm^2）	16.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	14670	37137
Z4-Z5	SM570	25	断面積（cm^2）	13.75	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	13481	37137
Z4-Z5	SM490Y	25	断面積（cm^2）	13.75	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	13481	37137
Z5-Z6	SM570	30	断面積（cm^2）	16.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	14670	37137
Z5-Z6	SM490Y	30	断面積（cm^2）	16.50	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	14670	37137
Z5-Z6	SM570	25	断面積（cm^2）	13.75	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	13481	37137
Z5-Z6	SM490Y	25	断面積（cm^2）	13.75	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	13481	37137

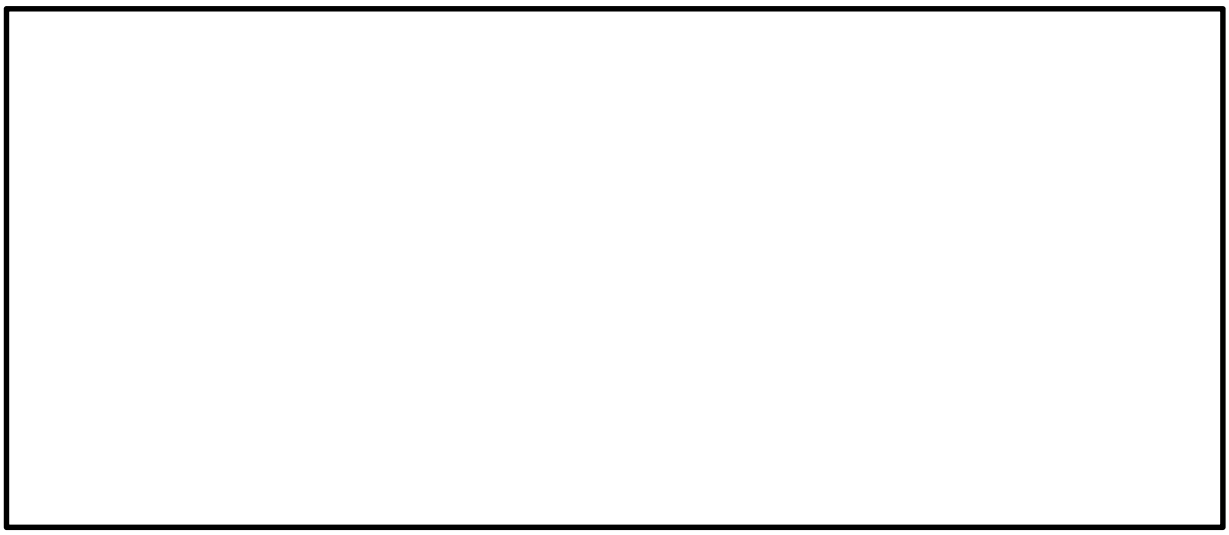
第 5-11 表（3）　補剛材の評価結果（その３）

主部材			補剛材		
部位	材質	板厚 (mm)	成分	必要量	配置量
Z5-Z6	SM490Y	20	断面積（cm^2）	11.00	108.80
			断面２次モーメント（cm^4）	6366	37137
Z6-Z9	SM490Y	30	断面積（cm^2）	15.00	50.60
			断面２次モーメント（cm^4）	8614	8922
Z6-Z9	SM490Y	20	断面積（cm^2）	10.00	50.60
			断面２次モーメント（cm^4）	5238	8922
Z6-Z9	SM570	16	断面積（cm^2）	8.00	50.60
			断面２次モーメント（cm^4）	3522	8922
Z6-Z9	SM490Y	16	断面積（cm^2）	8.00	50.60
			断面２次モーメント（cm^4）	3522	8922
Z6-Z9	SM490Y	12	断面積（cm^2）	6.00	50.60
			断面２次モーメント（cm^4）	1686	8922

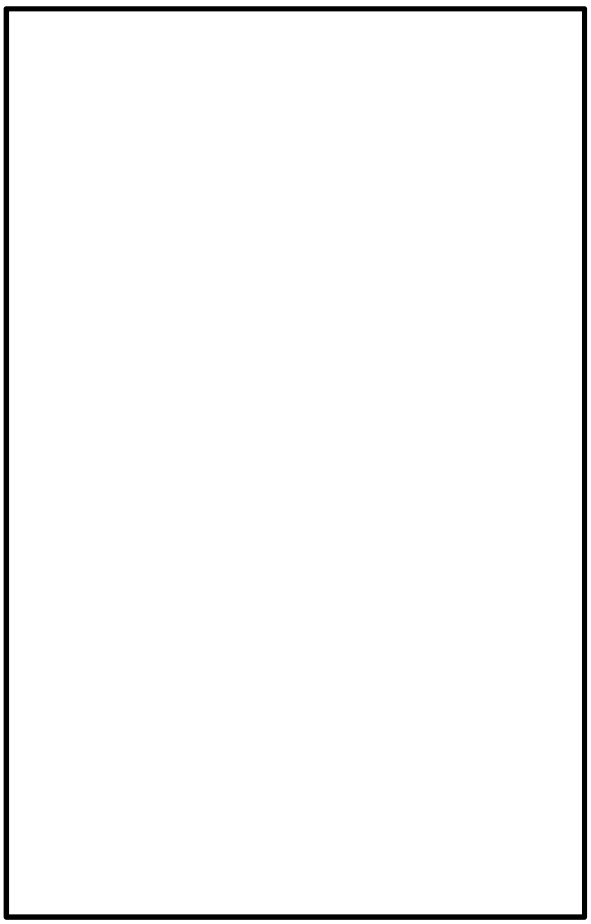
c.　添接板

ボルト添接を適用する最大板厚 60 mm の継ぎ手部 J3 及び J4 における検討箇所を第 5-9 図に示す。継ぎ手部 J3 の外面鋼板の添接板の構造を第 5-10 図に，評価結果を第 5-12 表に，水平隔壁の添接板の構造を第 5-11 図に，評価結果を第 5-13 表に示す。継ぎ手部 J4 の外面鋼板の添接板の構造を第 5-12 図に，評価結果を第 5-14 表に，水平隔壁の添接板の構造を第 5-13 図に，評価結果を第 5-15 表に示す。





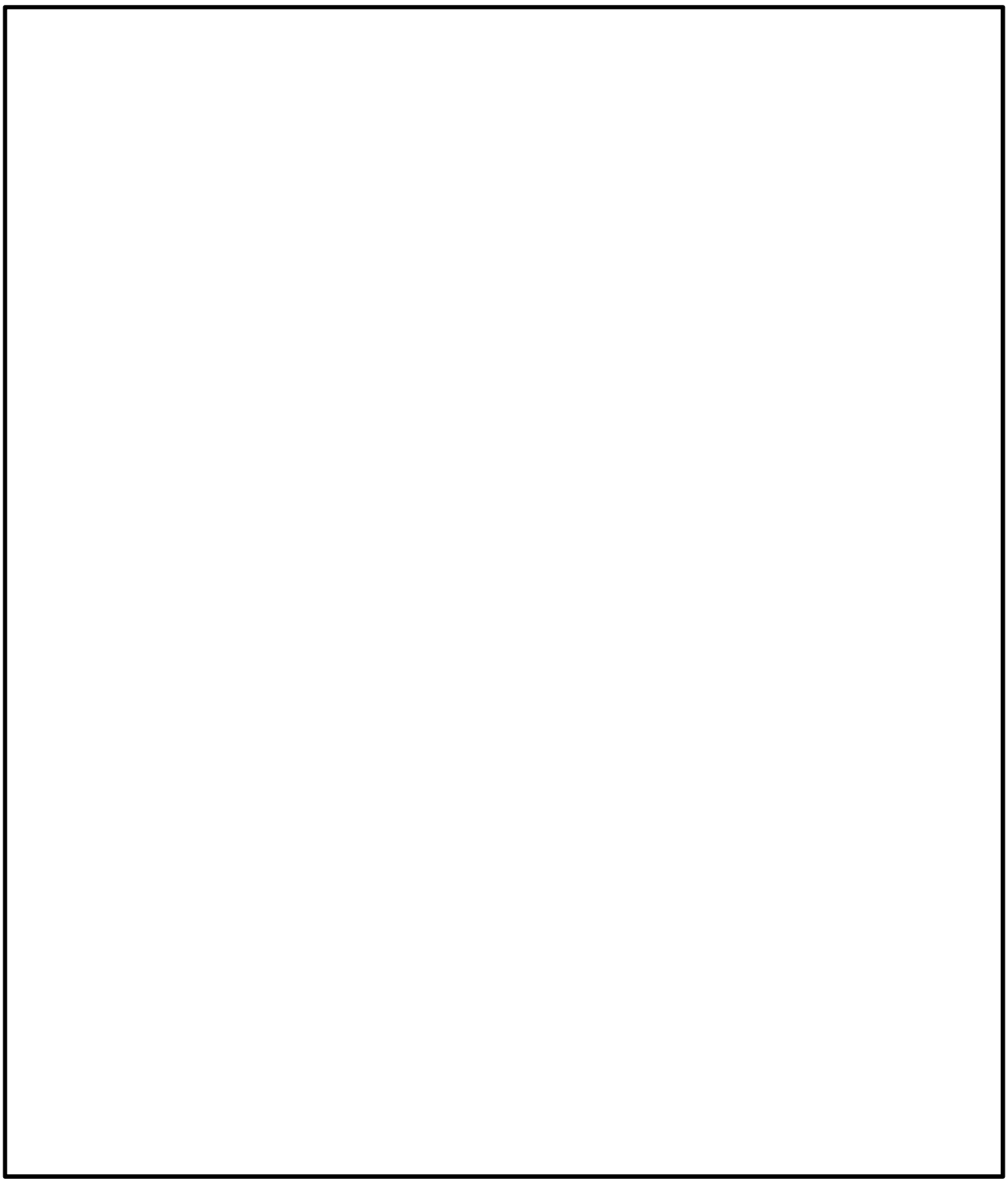
第 5-9 図　添接板検討位置



第 5-10 図　外面鋼板添接板（J3）構造図

第 5-12 表　外面鋼板添接板（J3）の評価結果

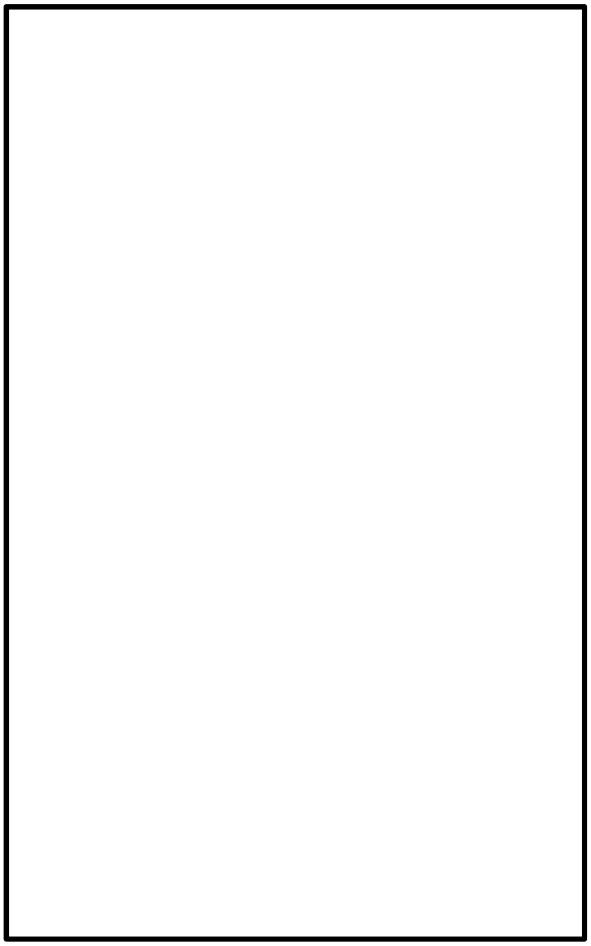
部材	仕様	照査対象	断面積		
			区分	必要断面積 (mm^2)	配置断面積 (mm^2)
添接板	SBHS500	母材	総断面積	511.9	515.8
			孔引き後断面積	378.2	417.1
		リブ	総断面積	244.8	259.2
			孔引き後断面積	182.8	188.9



第 5-11 図　水平隔壁添接板（J3）構造図

第 5-13 表　水平隔壁添接板（J3）の評価結果

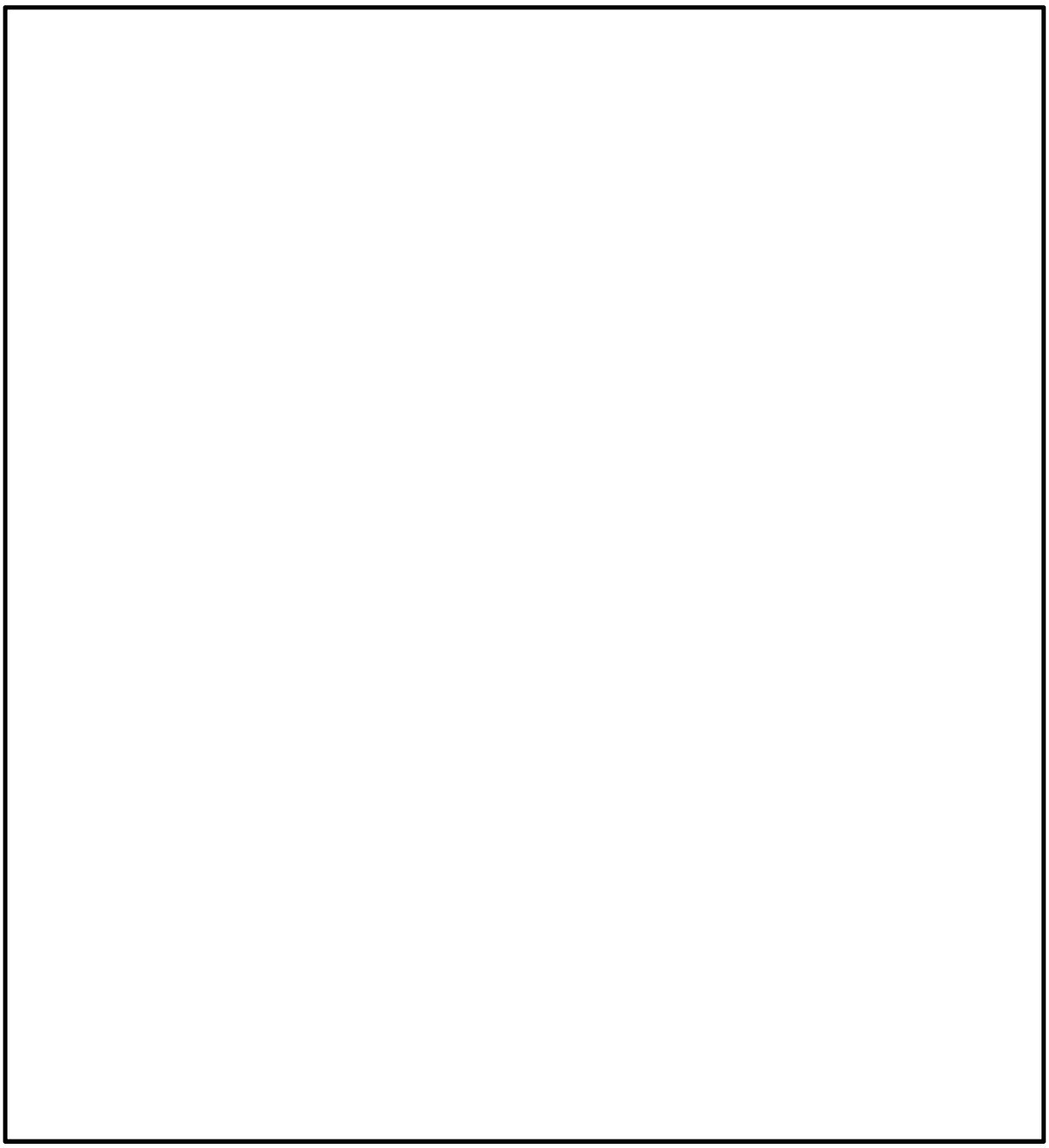
部材	仕様	照査項目	発生値	許容値	照査値
ボルト	高力ボルト S10T M22	せん断力（N）	31460	126000	0.25
		合成応力（N）	119272	126000	0.95
添接板	SBHS500	曲げ応力度（N/mm^2）	354	500	0.71



第 5-12 図　外面鋼板添接板（J4）構造図

第 5-14 表　外面鋼板添接板（J4）の評価結果

部材	仕様	照査対象	断面積		
			区　分	必要断面積 (mm^2)	配置断面積 (mm^2)
添接板	SBHS500	母材	総断面積	511.9	515.8
			孔引き後断面積	378.2	417.1
		リブ	総断面積	244.8	259.2
			孔引き後断面積	182.8	188.9



第 5-13 図　水平隔壁添接板（J4）構造図

第 5-15 表　水平隔壁添接板（J4）の評価結果

部材	仕様	照査項目	発生値	許容値	照査値
ボルト	高力ボルト S10T M22	せん断力（N）	41397	108000	0.39
		合成応力（N）	107785	108000	0.998
添接板	SBHS500	曲げ応力度（N/mm^2）	352	500	0.71

5.2.4　鋼製防護壁（接合部）

(1)　アンカーボルトの評価結果

アンカーボルトの評価結果を第 5-16 表に示す。

第 5-16 表　アンカーボルトの発生応力

基礎	荷重ケース	津波の種類	地盤バネ	断面力		アンカーボルト						コンクリート		
						引張応力度(N/mm²)		照査値	引張応力度(N/mm²)		照査値	圧縮応力度(N/mm²)		照査値
				①－①断面曲げモーメント(kN・m)	軸力(kN)	発生応力	許容応力度		発生応力	許容応力度		発生応力	許容応力度	
南基礎	津波時	基準津波	地盤バネ1	681833	−52482	100	355	0.29	48	355	0.14	3.4	24	0.15
			地盤バネ2	687925	−52754	101	355	0.29	49	355	0.14	3.5	24	0.15
		T.P.＋24.0 m 津波	地盤バネ1	1179402	−59230	201	355	0.57	83	355	0.24	5.9	32	0.19
			地盤バネ2	1189203	−59249	203	355	0.58	83	355	0.24	6.0	32	0.19
	重畳時	基準津波	地盤バネ3	791585	−53200	123	355	0.35	56	355	0.16	4.0	24	0.17
			地盤バネ4	829235	−62191	123	355	0.35	59	355	0.17	4.2	24	0.18
			地盤バネ5	827423	−62212	123	355	0.35	59	355	0.17	4.2	24	0.18
		T.P.＋24.0 m 津波	地盤バネ3	1394785	−50290	256	355	0.73	97	355	0.28	7.0	32	0.22
			地盤バネ4	1421815	−58730	254	355	0.72	99	355	0.28	7.1	32	0.23
			地盤バネ5	1415344	−68924	243	355	0.69	99	355	0.28	7.1	32	0.23
北基礎	津波時	基準津波	地盤バネ1	681629	−52731	100	355	0.29	48	355	0.14	3.4	24	0.15
			地盤バネ2	675537	−52460	99	355	0.28	48	355	0.14	3.4	24	0.15
		T.P.＋24.0 m 津波	地盤バネ1	1179493	−59724	201	355	0.57	83	355	0.24	5.9	32	0.19
			地盤バネ2	1169692	−59705	198	355	0.56	82	355	0.24	5.9	32	0.19
	重畳時	基準津波	地盤バネ3	622743	−47948	91	355	0.26	44	355	0.13	3.1	24	0.13
			地盤バネ4	624543	−41399	98	355	0.28	44	355	0.13	3.2	24	0.14
			地盤バネ5	627146	−32350	106	355	0.30	44	355	0.13	3.1	24	0.13
		T.P.＋24.0 m 津波	地盤バネ3	1333037	−58147	236	355	0.67	93	355	0.27	6.7	32	0.21
			地盤バネ4	1074785	−49707	187	355	0.53	75	355	0.22	5.4	32	0.17
			地盤バネ5	1069652	−49442	186	355	0.53	75	355	0.22	5.4	32	0.17

(2) アンカーボルトの定着長

アンカーボルトの定着長を第 5-17 表に示す。

第 5-17 表　アンカーボルトの定着長

定着長（cm）	必要定着長（cm）	照査値
270.0	236.9	0.88

(3) アンカーボルトのコーンせん断

アンカーボルトのコーンせん断に対する評価結果を第 5-18 表に示す。

第 5-18 表　アンカーボルトのコーンせん断

基礎	定着部のコーンせん断に対する許容応力度 (N/mm^2)	コンクリート強度で決まるコーンせん断力強度 (N/mm^2)	鉄筋補強によるコーンせん断力強度の増加 (N/mm^2)	必要鉄筋量 (mm^2/m^2)	配置鉄筋量 2-D25@300 (mm^2/m^2)	照査値
南基礎	1.023	0.825	0.611	1802	3377	0.54
北基礎	0.942	0.825	0.530	1563	3377	0.47

(4) 頂版及び中詰め鉄筋コンクリートの水平せん断力

頂版及び中詰め鉄筋コンクリートの水平せん断力に対する評価結果を第 5-19 表に示す。

第 5-19 表　頂版及び中詰め鉄筋コンクリートの水平せん断力に対する照査結果

基礎	部位	設計せん断力 (kN)	必要鉄筋量 (mm^2)	配置鉄筋	配置鉄筋量 (mm^2)	照査値
南基礎	頂版鉄筋コンクリート	203458	6527	24-D32	14349	0.46
	中詰め鉄筋コンクリート	203458	15783	15-D35*	19061	0.83
北基礎	頂版鉄筋コンクリート	215086	7373	24-D32	14349	0.52
	中詰め鉄筋コンクリート	215086	17017	15-D35*	19061	0.90

注記　＊：「鋼製防護壁の接合部アンカーに関する補足説明」において実施した３次元解析（ＣＯＭ３）の結果を反映して安全余裕を高める目的で鉄筋量を増加。

(5)　頂版及び中詰め鉄筋コンクリートの水平回転モーメント

頂版及び中詰め鉄筋コンクリートの水平回転モーメントに対する評価結果を第 5-20 表に示す。

第 5-20 表　頂版及び中詰め鉄筋コンクリートの水平回転モーメントに対する照査結果

基礎	部位	設計水平回転モーメント (kN・m)	水平鉄筋				鉛直鉄筋			
			配置鉄筋	発生応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値	配置鉄筋	発生応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
南基礎	頂版鉄筋コンクリート	2510806	8-D35	368	478.5	0.77	7-D51	99	478.5	0.21
	中詰め鉄筋コンクリート	2510806	5-D38	413	478.5	0.87	5-D51	232	478.5	0.49
北基礎	頂版鉄筋コンクリート	1565194	8-D35	230	478.5	0.48	7-D51	62	478.5	0.13
	中詰め鉄筋コンクリート	1565194	5-D35	307	478.5	0.65	5-D51	145	478.5	0.31

(7)　中詰め鉄筋コンクリートと鋼殻のずれ止め

中詰め鉄筋コンクリートと鋼殻とは，鋼殻側にずれ止めのためのスタッドを配置し一体化する。南北基礎の各断面力成分が最大値をとる時刻の発生断面力の組合せを設計断面力として必要スタッド量を算定した。評価結果を第 5-21 表に示す。

第 5-21 表　中詰め鉄筋コンクリートと鋼殻の一体化のためのスタッドの検討結果

部位	面外せん断力 (kN)	面内せん断力 (kN)	水平回転モーメント (kN・m)	面外回転モーメント (kN・m)	面内回転モーメント (kN・m)	必要スタッド量
南北面	215027	34251	2507607	1421815	155837	127mm 格子
東西面	215026	35949	2510806	1415344	177793	133mm 格子

5.2.5　基礎地盤の支持性能に対する評価結果

支持性能評価結果を第 5-22 表に示す。

鋼製防護壁の基礎地盤に生じる最大接地圧は，南基礎において T.P.＋24 m 津波時の検討ケース③で 2475 kN/m^2 であり，基礎地盤の極限支持力度 5991 kN/m^2 以下である。また，北基礎において T.P.＋24 m 津波時の検討ケース③で 3632 kN/m^2 であり，基礎地盤の極限支持力度 6116 kN/m^2 以下である。以上のことから，重畳時において鋼製防護壁の基礎地盤は，支持性能を有する。

第 5-22 表（1）　重畳時における基礎地盤の支持性能評価結果（南基礎）

検討ケース		最大接地圧(kN/m^2)	極限支持力度(kN/m^2)
基準津波	①	2134	5991
	②	2066	5991
	③	2147	5991
	④	2090	5991
	⑤	2152	5991
	⑥	2126	5991
T.P.+24 m 津波	①	2446	5991
	②	2357	5991
	③	2475	5991
	④	2403	5991
	⑤	2468	5991
	⑥	2430	5991

注記　①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース
②：地盤物性のはらつきを考慮（＋１σ）した解析ケース
③：地盤物性のはらつきを考慮（－１σ）した解析ケース
④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
⑤：原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース
⑥：地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース

第 5-22 表 (2)　重畳時における基礎地盤の支持性能評価結果（北基礎）

検討ケース		最大接地圧(kN/㎡)	極限支持力度(kN/㎡)
基準津波	①	2904	6116
	②	2797	6116
	③	3035	6116
	④	2930	6116
	⑤	2979	6116
	⑥	2868	6116
T.P.+24 m 津波	①	3447	6116
	②	3285	6116
	③	3632	6116
	④	3482	6116
	⑤	3529	6116
	⑥	3379	6116

注記　①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース
②：地盤物性のはらつきを考慮（＋１σ）した解析ケース
③：地盤物性のはらつきを考慮（－１σ）した解析ケース
④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
⑤：原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース
⑥：地盤物性のばらつきを考慮（＋１σ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース

5.2.6　止水ジョイント部の強度評価結果

重畳時における止水ジョイント部の異種構造物間の相対変位量に対する照査結果を第 5-23 表に示す。

重畳時における止水ジョイント部の異種構造物間の相対変位量に対する照査を行った結果，止水ジョイント部の相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

第 5-23 表　異種構造物間の重畳時相対変位量

位置番号	δx [m]	δy [m]	δz [m]	最大発生変位量[m] $\sqrt{(\delta x^2+\delta y^2+\delta z^2)}$	設計変位量 [m]
南側	0.416	0.990	0.059	1.075	2.000
北側	0.428	1.456	0.055	1.519	2.000